ОБМОТКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Издание шестое переработанное



"ЭНЕРГИЯ"
Ленинградское отделение 1970

Авторы:

Зимин Владимир Иванович, Каплан Моисей Яковлевич, Палей Анна Марковна, Рабинович Исай Натанович, Федоров Василий Петрович, Хаккен Петр Андреевич.

Обмотки электрических машин. Изд. 6–е, переработ., и доп. Л., Энергия", 1970., 472 стр.
Интернет издание 2009–2022 г., 322 стр.

В книге рассматриваются основные элементы теории, материалы и конструкции обмоток, а также технология производства. Описаны методы испытания обмоток. По сравнению с предыдущими настоящее издание книги переработано применительно к достижениям последних лет в области конструирования и производства обмоток. Книга рекомендуется в качестве пособия для повышения квалификации мастеров и бригадиров электромашиностроительной промышленности и работников энергохозяйства предприятий. Она может также представить интерес для широкого круга инженеров и техников, имеющих дело с электрическими машинами и для учащихся электротехнических вузов и техникумов.

Предисловие.

В технической литературе и периодической печати уделяется большое внимание обмоткам электрических машин. Однако в этой литературе рассматриваются либо теория обмоток, либо отдельные вопросы, посвященные технологии и изоляции обмоток. Настоящая книга, выпускаемая шестым изданием, содержит основные сведения по теории и производству обмоток электрических машин, необходимые для бригадиров и мастеров, занятых изготовлением и ремонтом обмоток электрических машин.

Книга может быть также рекомендована учащимся техникумов для изучения обмоток.

Содержание книги охватывает все вопросы, связанные с изготовлением, проверкой схем и испытанием обмоток электрических машин.

В ней рассмотрены следующие вопросы: составление и проверка схем обмоток машин постоянного и переменного тока, материалы применяемые для изготовления обмоток и конструкции обмоток, технологические процессы изготовления обмоток и укладки их в пазы, а также методы контроля качества обмоток.

В книге приводятся основные формулы для определения шагов обмоток, расчета размеров катушек и шаблонов для их намотки, расчеты прочности бандажей и другие формулы, применяющиеся при изготовлении обмоток. Учитывая, что эта книга предназначена также для работников занимающихся ремонтом обмоток, в ней наряду с современными типами обмоток приведены и схемы обмоток машин переменного тока широко применявшихся ранее.

Большое внимание в книге уделено обмоткам машин переменного тока с дробным числом пазов на полюс – фазу и обмоткам многоскоростных двигателей переменного тока.

Для чтения книги требуются знания математики и физики в объеме восьмилетней школы.

Наиболее существенные изменения, внесенные в настоящее издание, следующие:

В разделе первом более подробно рассмотрены схемы "лягушачьих" и сложно–петлевых обмоток, применение которых в последние годы расширилось. В разделе третьем добавлены сведения о новых изоляционных материалах и уточнены стандарты. В разделе четвертом освещены последние достижения в области производства и испытания обмоток. В последние годы начали широко внедряться обмотки с внутри–проводниковым охлаждением (водой или газом). В связи с этим в книге рассмотрены вопросы контроля полых проводников. Помимо этого, пересмотрены некоторые разделы книги с целью уточнения и более ясного изложения ряда вопросов. В книге наряду с обозначением выводных концов обмоток переменного тока, принятых в ГОСТ183–66, на некоторых схемах сохранены обозначения по ранее действующим ГОСТам. Авторы считали возможным сохранить эти обозначения, имея в виду, что при ремонтах обмоток они встречаются.

Замечания и отзывы читателей по данному переизданию будут с благодарностью приняты авторами. Просьба направлять их по адресу: Ленинград, Д–41, Марсово поле, д. 1, Ленинградское отделение издательства "Энергия".

Авторы

Раздел первый
Схемы обмоток машин постоянного и переменного тока
Глава первая обмотки машин постоянного тока.

1–1. Общие сведения.

Электрические машины служат для преобразования механической энергии в электрическую или, наоборот, электрической энергии в механическую. В первом случае их называют генераторами, во втором – электродвигателями. Устройство электрических машин основано на двух физических явлениях. Первое явление, известное под названием закона электромагнитной индукции, состоит в том, что при пересечении проводником магнитных силовых линий в нем появляется или, как говорят, индуктируется электродвижущая сила – э. д. с, причем эта э. д. с. будет тем больше, чем больше силовых линий пересекает проводник в одну секунду. Второе физическое явление, на котором основано устройство электродвигателя, состоит в том, что проводник, по которому течет ток (если направление его не совпадает с направлением магнитных силовых линий) выталкивается из магнитного поля. Сила выталкивания тем больше, чем больше ток в проводнике, длина проводника (в магнитном поле) и индукция магнитного поля. Следует отметить, что выталкивание проводника с током из магнитного поля является необходимым следствием закона электромагнитной индукции и закона сохранения энергии. Действительно, при пересечении проводником магнитных силовых линий в нем индуктируется э. д. с; очевидно, что при подключении к началу и концу этого проводника какого–либо сопротивления в образованной замкнутой цепи появится ток, и, следовательно, будет выделяться энергия. Но в природе, по закону сохранения энергии, могут иметь место только процессы преобразования энергии (механическая энергия с помощью электрических машин преобразуется в электрическую, электрическая энергия может быть преобразована в тепловую, механическую и другие виды энергии), поэтому выделение электрической энергии в случае движения проводника в магнитном поле должно обязательно сопровождаться затратой другого вида энергии. Так в действительности и происходит при появлении тока в проводнике, передвигаемом в магнитном поле: появляются силы, выталкивающие его из магнитного поля в направлении, противоположном совершающемуся движению, и для движения проводника приходится затрагивать больше энергии, чем в том случае, когда тока в нем нет.

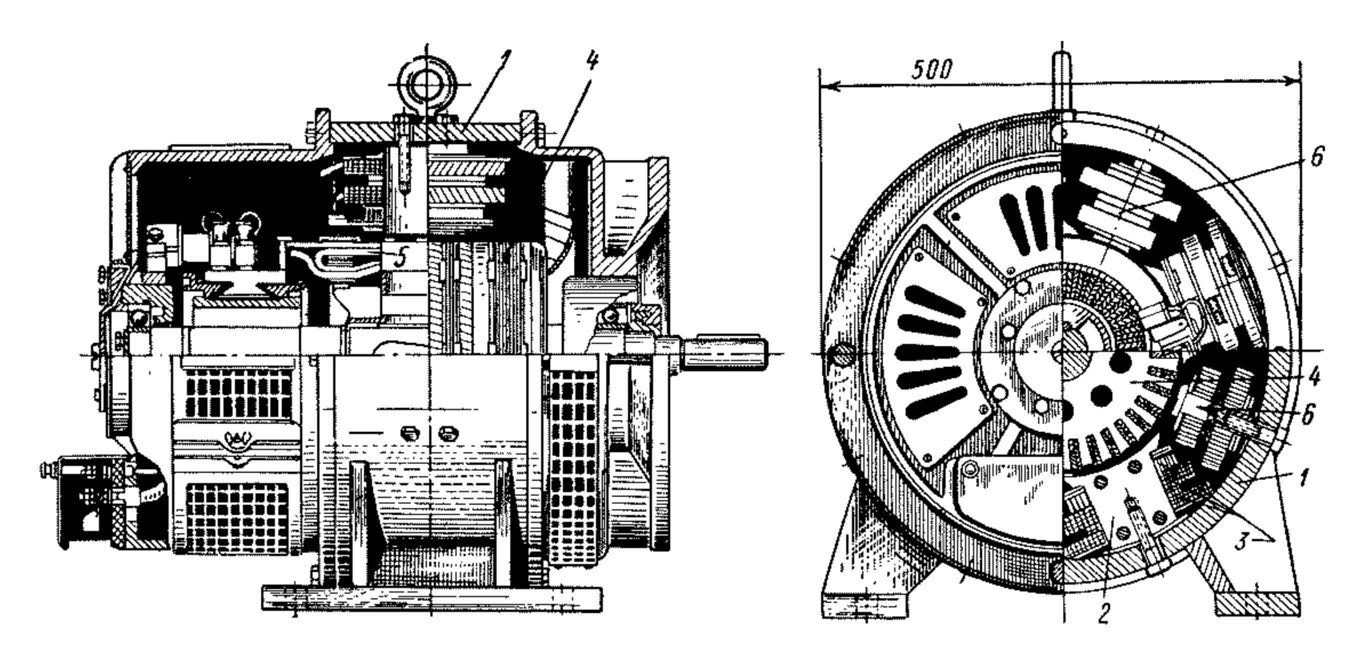


Рис. 1–1. Машина постоянного тока.

Во всякой электрической машине должна быть часть, посредством которой создается магнитный поток, и часть с проводниками в которых индуктируется э. д. с. Но для этого необходимо, чтобы проводники перемещались в магнитном поле и пересекали его силовые линии или, наоборот, чтобы магнитное поле перемещалось и силовые линии пересекали проводники. То и другое устройства находят применение в современных электрических машинах. Машина постоянного тока, устройство которой показано на рис. 1–1, обычно выполняется таким образом, что магнитный поток создается неподвижной ее частью, которую называют магнитной системой. Эта система состоит из станины 7, полюсов 2 и катушек полюсов 3. Ток, протекающий по катушкам полюсов, создает магнитное поле. Проводники, в которых индуктируются э. д. с, укладываются на вращающуюся часть машины 4, называемой якорем. Проводники 5, уложенные на якоре и соединенные определенным образом, представляют собой обмотку якоря. На рисунке также показаны добавочные полюсы 6. В проводниках обмотки якоря индуктируются э. д. с, переменные по направлению. При переходе проводника из–под полюса одной полярности (например, северного) под полюс другой полярности (южный) э. д. с. в нем меняет направление. Для того чтобы получить постоянный ток, проводники обмотки якоря присоединяют к коллектору. Коллектор, как известно, представляет собой цилиндр, составленный из отдельных медных пластин, изолированных друг от друга. С коллектора ток снимается неподвижными щетками, прижатыми к нему пружинами. Каким образом при помощи коллектора на щетках получается постоянная по направлению э. д. с, будет рассмотрено далее. Соединения между проводниками обмотки якоря должны быть выполнены таким образом чтобы э. д. с. их складывались. Последовательность соединения отдельных проводников между собой может быть разная и от нее зависит тип обмотки якоря. В дальнейшем нам предстоит изучить правила соединения проводников и свойства различных типов обмоток якорей. В процессе совершенствования машин постоянного тока конструкция якоря и якорные обмотки подверглись весьма существенным изменениям. Из применявшихся ранее конструкций якорей следует отметить кольцевой якорь (рис. 1–2). Кольцевой якорь представляет собой цилиндрическое кольцо с навитой на него проволокой, от которой через один или несколько витков сделаны присоединения к коллектору. Изобретение кольцевого якоря (1859 г.) имело большое значение в развитии машин постоянного тока, так как он был значительно совершеннее ранее применявшихся. Кольцевые якоря в настоящее время не применяются, их можно встретить только в старых машинах. Однако обмотки кольцевого якоря являются наиболее простыми для понимания, а потому знакомство с ними весьма полезно для изучения более сложных обмоток современных барабанных якорей.

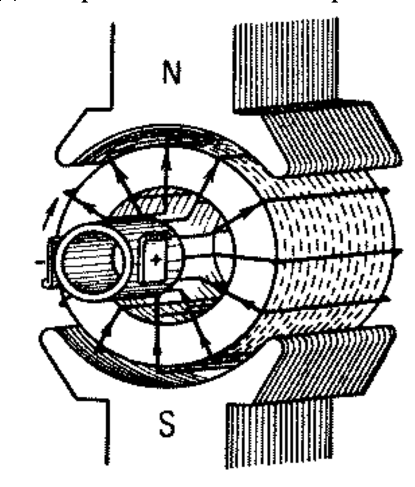


Рис. 1–2. Кольцевой якорь.

1–2. Обмотки кольцевого якоря.

а. Двухполюсная машина.

На рис. 1–3 показан кольцевой якорь с восемью витками, применяемый в двухполюсной магнитной системе. На коллекторе по линии *OO*', перпендикулярной оси полюсов, размещены щетки *A* и *B*. Части проводника, огибающие кольцо со стороны, противоположной коллектору, показаны пунктиром.

Магнитные силовые линии, выходящие из северного полюса, проходят по стали кольца, как показано на рисунке пунктиром, и попадают в южный полюс. Магнитного поля во внутренней полости между кольцом и валом практически нет. Это объясняется большим магнитным сопротивлением воздуха по сравнению с сопротивлением стали кольца. Поэтому при вращении якоря пересекать магнитные силовые линии будут проводники, расположенные только на наружной поверхности кольца, и в них будут индуктироваться э. д. с. Направление э. д. с. в проводниках определяется правилом правой руки, которое состоит в следующем.

Если ладонь правой руки расположить перпендикулярно направлению силовых линий так, чтобы в нее входили силовые линии, а большой отогнутый палец направить по направлению движения проводника, то остальные пальцы вытянутой ладони покажут направление э. д. с. (рис. 1–4). В дальнейшем условимся направление э. д. с. обозначать следующим образом: проводники, в которых э. д. с. направлены от нас, будем обозначать крестиком в кружке (хвостик стрелки), проводники, в которых э. д. с. направлены к нам, точкой в кружке (острие стрелки). Для быстрого определения направления э. д. с. можно запомнить следующее правило: при перемещении проводника вправо, что соответствует направлению вращения якоря по часовой стрелке, в проводниках, расположенных под северным полюсом, э. д. с. направлена от нас. Исходя из указанного правила, легко установить, что при вращении якоря (см. рис. 1–3) по часовой стрелке в проводниках 1, 2, 3 и 4 индуктируются э. д. с., направленные от нас, в проводниках же 5, 6, 7 и 8 – э. д. с, направленные к нам. По рис. 1–3 нетрудно проследить, что в витках 7, 2, 3 и 4, расположенных в данный момент под северным полюсом, э. д. с. складываются так же, как в витках 5, 6, 7 и 8, расположенных под южным полюсом. Но э. д. с. в обеих перечисленных группах витков направлены друг другу навстречу, они расходятся от коллекторной пластины 1 и встречаются на коллекторной пластине 5. Они стремятся создать внутри замкнутой обмотки якоря токи разного направления, так как по величине э. д. с. в обеих частях обмотки равны, то при отключенной внешней цепи тока в обмотке якоря не будет.

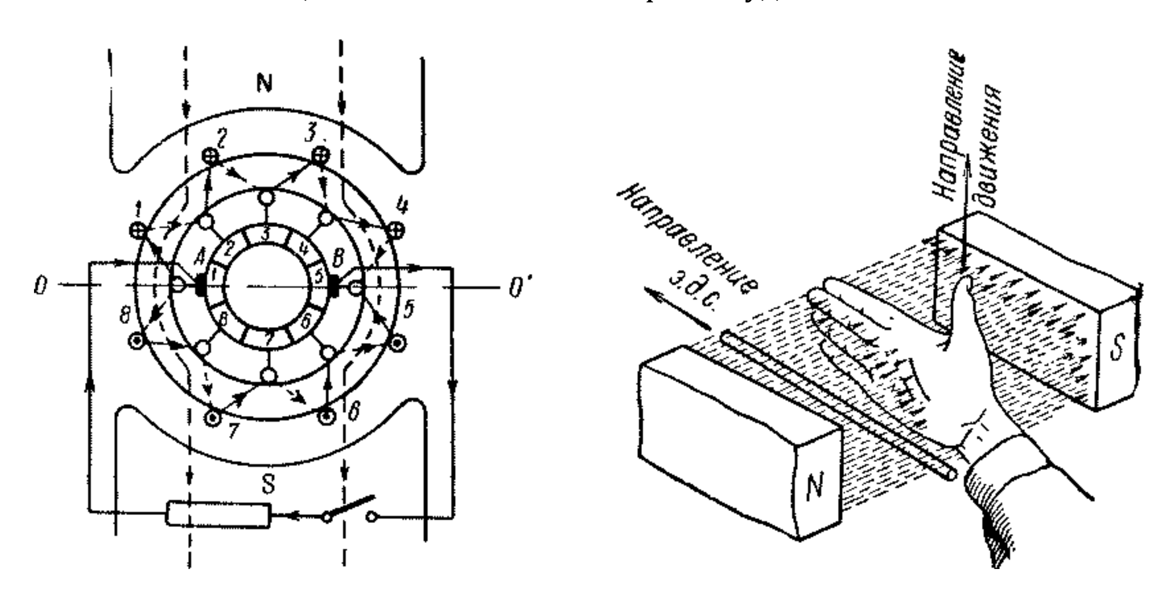


Рис. 1–3. Кольцевой якорь двухполюсной машины. Рис. 1–4. Правило правой руки.

Равновесие э. д. с. всех витков внутри замкнутой обмотки якоря является важнейшим условием правильной ее работы. Если бы это условие не соблюдалось, то по обмотке якоря протекал бы ток независимо от того, включена внешняя цепь или нет. Так как сопротивление обмотки якоря очень мало, то даже небольшая э. д. с, действующая внутри обмотки якоря, может вызвать в ней большой ток, а следовательно, и потери энергии, и чрезмерный нагрев обмотки. Поэтому в правильно выполненной замкнутой обмотке якоря сумма э. д. с. всех ее витков должна быть равна нулю.

Как видно из рис. 1–3, по отношению к щеткам (внешней цепи) э. д. с. в обеих половинах обмотки якоря имеют одинаковые направления и стремятся создать ток, выходящий из щетки *B*, т. е. эта щетка будет положительной. Из щетки *B* ток пойдет во внешнюю цепь, если она замкнута, и войдет обратно в якорь через щетку *A*, которая, следовательно, будет отрицательной. По отношению к внешней цепи, как следует из рисунка, обе половины обмотки якоря включены параллельно; в дальнейшем мы будем их называть параллельными ветвями обмотки якоря. Ток во внешней цепи в два раза больше тока в каждой параллельной ветви. При вращении якоря полярность щеток, благодаря коллектору не будет изменяться, т. е. во внешней цепи ток будет постоянным по направлению. Действительно, вследствие того, что при повороте якоря под северный полюс вместо витков 1, 2, 3 и 4 попадут витки 8, 1, 2 и 3 или какие–либо другие, а под южный полюс вместо витков 5, 6, 7 и 8 попадут витки 4, 5, 6 и 7 или другие, полярность щеток не изменится, а изменится лишь направление э. д. с. в отдельных витках. Таким образом, во внешней цепи ток будет иметь постоянное направление, в витках же обмотки якоря направление тока будет изменяться каждый раз при перемещении витка из–под полюса одной полярности под полюс другой полярности, т. е. по проводникам обмотки якоря будет проходить переменный ток. Если бы щетки следовали за коллекторными пластинами 1 и 5, т. е. коллекторные пластины 1 и 5 были бы приключены к двум кольцам, и щетки *A* и *B* были бы неподвижны и помещены на эти кольца, то э. д. с. на щетках *A* и *B* была бы переменной. Это нетрудно проверить, вычертив несколько положений якоря в магнитном поле и определив э. д. с. на пластинах 1 и 5. Отметим, что от обмотки якоря постоянного тока путем присоединения к ней колец получают переменный ток в одноякорных преобразователях и генераторах двойного тока. В этих машинах обмотка якоря присоединена к коллектору и кольцам. Одноякорный преобразователь может быть подключен к сети переменного тока (со стороны колец) или к сети постоянного тока (со стороны коллектора) и, соответственно, он будет работать или как двигатель переменного тока, или как двигатель постоянного тока. В первом случае с коллектора может быть снят постоянный ток, во втором случае – переменный. При работе машины генератором двойного тока якорь ее вращается каким–либо двигателем, и она одновременно может отдавать постоянный (с коллектора) и переменный (с колец) ток. Обмотку якоря можно сравнить с параллельным соединением элементов или аккумуляторов. Для определенного положения якоря каждый виток обмотки можно мысленно заменить одним элементом, а параллельную ветвь – рядом последовательно соединенных элементов. В нашем примере параллельная ветвь заменяется четырьмя элементами. Так как э. д. с. витков в одной параллельной ветви имеет направление, противоположное э. д. с. витков другой параллельной ветви, то группы элементов, заменяющие эти э. д. с, нужно включать навстречу друг другу (рис. 1–5). При таком включении внутри цепи, составленной из восьми элементов, э. д. с. будет равна нулю, и при разомкнутой внешней цепи по ней не будет протекать ток; напряжение же на зажимах *A* и *B* будет равно э. д. с. четырех элементов. Рассмотрим подробнее, как происходит изменение тока в витке. По рис. 1–3 нетрудно проследить, что при вращении якоря по часовой стрелке виток 8 удаляется от южного и приближается к северному полюсу, при этом изоляционная прокладка между коллекторными пластинами 8 и 1, к которым присоединен этот виток, приблизится к щетке *A* и наступит такой момент, когда виток замкнется щеткой накоротко.

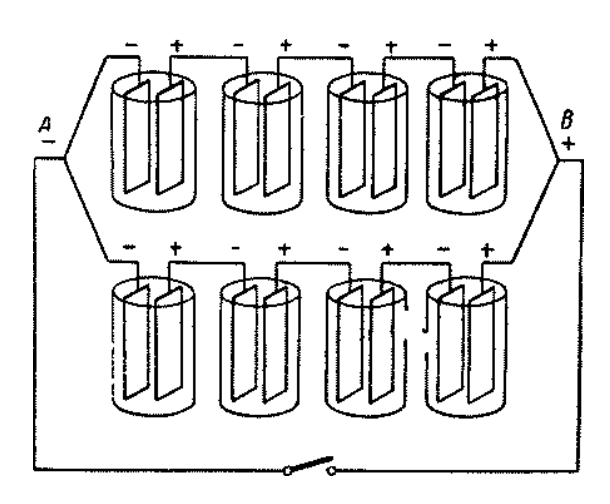


Рис. 1–5. Соединение элементов, эквивалентное обмотке якоря.

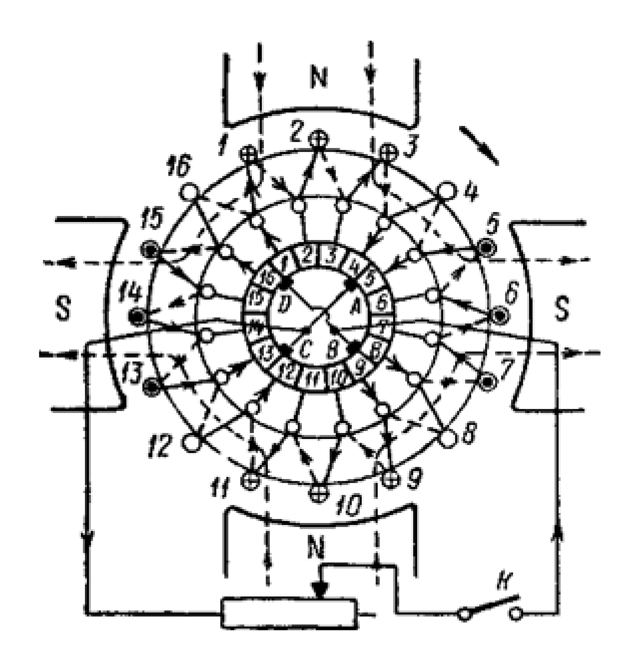


Рис. 1–6. Кольцевой якорь четырехполюсной машины.

При дальнейшем вращении якоря коллекторная пластина 1 выйдет из–под щетки, виток 8 разомкнётся и займет такое же положение, как виток 1, ток в нем изменит направление. Точно так же будет осуществляться изменение направления тока в витке 4. Из рассмотренной картины изменения направления тока в витке обмотки якоря следует, что в процессе этого изменения виток оказывается замкнутым накоротко щеткой; когда он переходит в другую параллельную ветвь, происходит его размыкание. Этот процесс изменения тока в витках обмотки якоря называется коммутацией. При размыкании витка, так же как при размыкании рубильника, между щеткой и коллекторной пластиной в некоторых случаях могут появиться искры (электрические дуги). Так как изменение направления тока в витках происходит непрерывно и очень быстро, то под щеткой на некоторых машинах можно наблюдать постоянное искрение. Для устранения этого искрения применяются добавочные полюсы (см. рис 1–1), расположенные между главными. При вращении якоря виток пересекает магнитные линии добавочных полюсов и в нем индуктируется э. д. с. такого направления и величины, которая уничтожает э. д. с, вызывающую ток в короткозамкнутом щеткой витке и, таким образом, размыкание его происходит без резкого изменения тока. Замыкание щеткой витка в процессе коммутации должно учитываться при выполнении обмоток. Необходимо следить за тем, чтобы витки, замыкаемые щеткой накоротко, не оказывались расположенными под полюсами, т. е. чтобы в них не индуктировались большие э. д. с, которые вызывали бы большие токи, так как размыкание этих токов является причиной искрения. Этим обстоятельством вызывается часто наблюдающееся искрение под щетками при сдвиге их с нейтрали. На рис. 1–3 легко проследить, что при сдвиге щеток с линии *ОО'* накоротко будут замыкаться витки, расположенные под полюсами.

б. Четырехполюсная машина.

Поместим кольцевой якорь в четырехполюсную магнитную систему (рис. 1–6). Разместим на якоре 16 проводников Направления э. д. с. в проводниках обмотки якоря при вращении его по часовой стрелке обозначены на рисунке. Все проводники обмотки могут быть подразделены на четыре группы в соответствии с направлением э. д. с. в них. В проводниках 2, 2 и 5, при данном положении якоря, индуктируются э. д. с, направленные от нас; в проводниках 5, 6 и 7 – э. д. с., направленные к нам. Э. д. с. в каждой группе проводников складываются, а э. д. с. отдельных групп действуют друг другу навстречу.

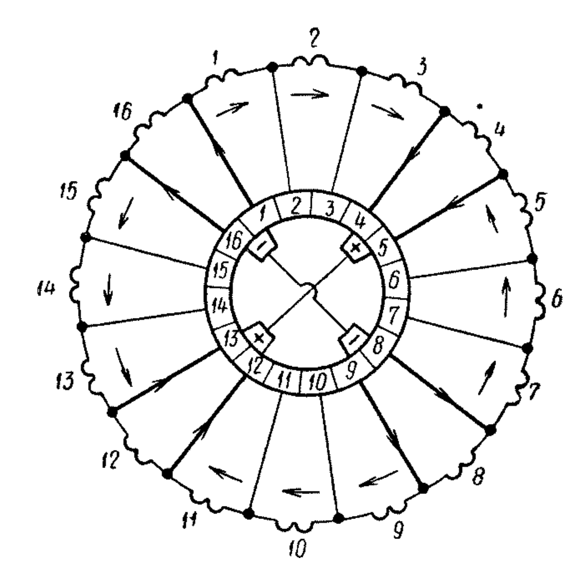


Рис. 1–7. Схема, эквивалентная обмотке якоря на рис. 1–6.

Таким образом, и в этом случае, как и при двухполюсной машине, общая э. д. с. всех проводников внутри замкнутой обмотки якоря равна нулю.

Если посредине между полюсами разместить на коллекторе щетки *A*, *B*, *C* и *D*, то индуктированные в отдельных группах проводников э. д. с. будут стремиться создать токи, выходящие из щеток *A* и *C* и входящие в щетки *B* и *D*. Щетки *A* и *C* будут положительными, а щетки *B* и *D* – отрицательными.

Щетки одинаковой полярности (*A* и *C*, *B* и *D*) можно соединить между собой электрически (кабелем или шиной) и от этих соединений сделать отводы во внешнюю цепь. Соединение между собой щеток одной полярности не вызывает тока в обмотке, так как сумма э. д. с. в витках, заключенных между ними, равна нулю (при условии равенства магнитных потоков полюсов). Ток в обмотке якоря появится только в том случае, если мы соединим между собой положительные и отрицательные щетки (щетки разной полярности), т. е. замкнем рубильник *к* и подключим внешнюю цепь. Таким образом, пока внешняя цепь, в которую могут быть включены лампы, двигатели, нагревательные приборы и т. д. не будет замкнута, в обмотке якоря тока не будет, а следовательно, и не будет бесполезного расхода энергии на нагревание проводников обмотки якоря. Рассмотрим теперь, сколько параллельных ветвей имеет якорная обмотка четырехполюсной машины. Из рис. 1–6 видно, что к каждой из положительных щеток *A* и *C* ток подводится от двух групп проводников (к щетке *A* – от проводников 1, 2, 3 и от проводников 5, 6 и 7; к щетке *C* – от проводников 9, 10, 11 и 13, 14, 15). В замкнутых накоротко щетками витков 4, 8, 12 и 16, находящихся в нейтральных зонах (где практически нет магнитного поля полюсов), э. д. с. от этого поля равны нулю. Таким образом, к положительной шине, соединяющей две положительные щетки *A* и *C*, ток подходит от четырех групп проводников, т. е. от четырех параллельных ветвей обмотки якоря. На рис. 1–7 показана схема, эквивалентная этой обмотке якоря. Рассмотрев эти примеры, можно сделать следующие выводы:

1) обмотки кольцевого якоря, которые могут быть названы спиральными, имеют число параллельных ветвей, равное числу полюсов;

2) проводники каждой параллельной ветви расположены под одним полюсом.

В дальнейшем число параллельных ветвей обмотки будем обозначать через $2a$, а число полюсов машины – через $2p$, где a – число пар параллельных ветвей, p – число пар полюсов машины. Для спиральной обмотки кольцевого якоря, которую часто называют параллельной: $2a = 2p$.

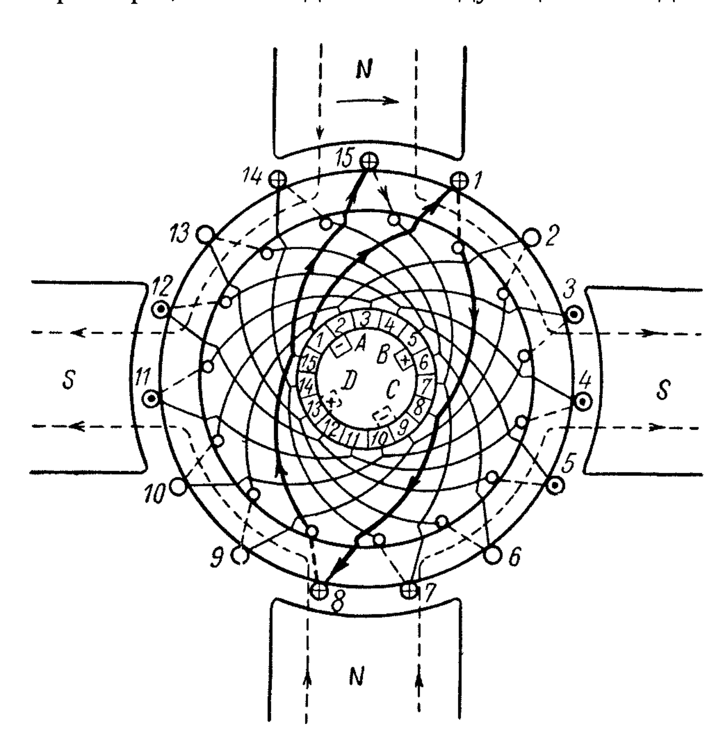


Рис. 1–8. Схема последовательной обмотки кольцевого якоря.

в. Последовательная обмотка кольцевого якоря.

Из рассмотренных двух примеров обмоток кольцевого якоря видно, что э. д. с. в витках обмотки якоря, расположенных под каждым полюсом, складываются. В многополюсных машинах сложение э. д. с. в витках может быть получено при соединении их по другому способу, а именно: при последовательном соединении витков, расположенных не под одним полюсом, а под разными полюсами, но одной и той же полярности.

Схема такой обмотки с пятнадцатью витками показана на рис. 1–8. Из этой схемы видно, что виток 1 соединяется с витком 8. виток 8 соединяется с витком 15, который соединяется с витком 7, и т. д. При таком способе соединения витков они будут разделены на две группы. Одна группа последовательно соединенных витков, в которых э. д. с. складываются, будет расположена под северными полюсами; вторая группа витков будет расположена под южными полюсами. Э. д. с. в обеих группах витков будут направлены друг другу навстречу.

Очевидно, что при таком выполнении обмотки якоря она будет иметь всего две параллельные ветви независимо от числа полюсов машины. *Такая обмотка называется последовательной обмоткой кольцевого якоря.* Из рис. 1–8 видно, что отрицательная щетка *A* располагается на пластинах 1 и 2, положительная щетка на пластинах *B* – 5 и 6. Эквивалентная схема такой обмотки представлена на рис. 1–9. На ней изображено соединение витков; направление э. д. с. в витках указано стрелками. Цифры, стоящие над обозначением витка, соответствуют номеру витка, а прямые линии, соединяющие витки, – коллекторным пластинам, номера которых соответствуют номерам витков, если следовать по схеме по движению часовой стрелки, т. е. виток 15 включен между пластинами 15 и 7. Из схемы рис. 1–8 ясно, что при последовательной обмотке достаточно всего лишь двух щеток для отвода тока от коллектора, несмотря на то, что машина имеет четыре полюса. Однако на коллекторе могут быть установлены все щетки (на рис. 1–8 и 1–9 дополнительные щетки показаны пунктиром), при этом одноименные щетки (*A* и *C*) и (*B* и *D*) оказываются соединенными витками обмотки якоря (расположенными в нейтральной зоне), в которых нет э. д. с.

г. Недостатки кольцевого якоря.

Кольцевой якорь имеет ряд недостатков:

1. Невозможность предварительной заготовки и изолировки обмотки. Обмотка кольцевого якоря может выполняться только вручную – протягиванием проводника с одного конца якоря к другому.
2. Плохое использование меди обмотки, так как э. д. с. индуктируется только в наружных проводниках, которые пересекают силовые линии магнитного поля. Проводники, находящиеся на внутренней стороне кольца, не пересекают силовых линий, а поэтому не участвуют в образовании э. д. с.
3. Плохое охлаждение внутренних проводников обмотки. Указанные недостатки, а также сложность конструкции привели к тому, что кольцевой якорь был вытеснен более совершенным барабанным или, иначе, цилиндрическим якорем.

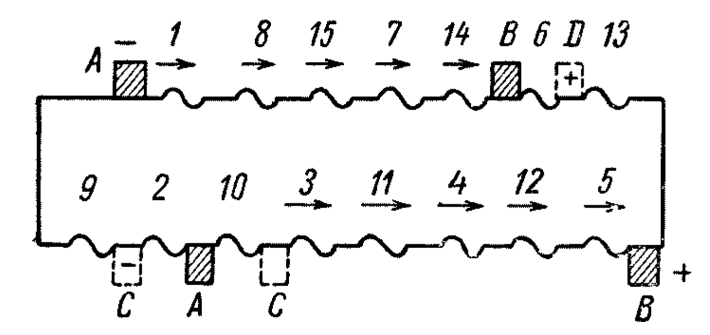


Рис. 1–9. Схема, эквивалентная обмотке якоря рис. 1–8.

1–3. Барабанный якорь.

Барабанный якорь в том виде, в каком он в настоящее время изготовляется, представляет собой цилиндр, собранный из отдельных листов электротехнической стали толщиной 0,5 мм. На поверхности якоря имеются канавки, называемые пазами, в которые укладывается обмотка. Обмотки барабанных якорей большей частью выполняются двухслойными, т. е. проводники обмотки якоря в пазу лежат друг над другом.

а. Основные типы обмотки.

При выполнении обмотки якоря проводники, расположенные в пазах якоря, следует соединять между собой таким образом, чтобы э. д. с. в них складывались. Это произойдет в том случае, если мы соединим их между собой так, как указано на рис. 1–10, т. е. проводник *a*, расположенный под северным полюсом, соединим с проводником *b*, расположенным под южным полюсом.

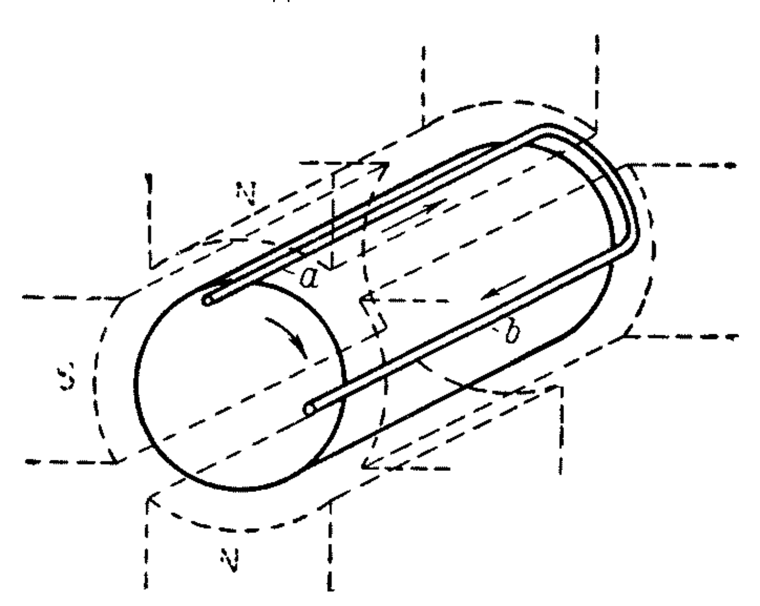


Рис. 1–10. Виток обмотки барабанного якоря.

Два проводника, соединенные между собой указанным способом, называют *витком обмотки якоря*. Расстояние между проводниками, составляющими виток, должно быть равно или незначительно отличаться от расстояния между серединами соседних полюсов (полюсного шага), так как при этом условии виток будет охватывать весь магнитный поток полюса, и э. д. с. в нем при вращении якоря будет иметь наибольшее значение. Соединив каждые два отдельных проводника обмотки якоря витки со стороны, противоположной коллектору, надо еще соединить витки между собой и со стороны коллектора и присоединить обмотку к коллектору. Существуют два способа соединения. По первому способу (рис. 1–11) начало витка *A* присоединяется к коллекторной пластине, а конец его соединяется с соседней коллекторной пластиной и началом рядом лежащего витка *B*; далее конец витка *B* присоединяется к следующей коллекторной пластине и к началу соседнего витка *C* и т. д. до тех пор, пока обмотка не замкнется, т. е. пока мы не вернемся к началу витка *A*. Э. д. с. витков *A*, *B*, *C* и т. д. складываются. Обмотка, выполненная этим способом, называется параллельной или петлевой обмоткой. Последнее название обмотка получила потому, что она имеет вид петель, расположенных на поверхности якоря. По второму способу (см. рис. 1–12) витки соединяются следующим образом: конец витка *A* присоединяется к коллекторной пластине и соединяется с началом витка *B*, который расположен под следующей парой полюсов, затем конец витка В присоединяют к коллекторной пластине и к началу витка *C* и т. д. до тех пор, пока обмотка не замкнется, т. е. пока мы не вернемся к началу витка А. Из рис. 1–12 нетрудно видеть, что и в этом случае э. д. с. витков *A*, *B* и *C* складываются. Обмотка, выполненная по второму способу, носит название последовательной или волновой обмотки. Петлевая и волновая обмотки являются двумя основными типами современных обмоток.

Нетрудно понять, что эти обмотки можно представить себе, как видоизмененные обмотки кольцевого якоря. Для этого проводники, расположенные на внутренней поверхности кольцевого якоря, нужно вынести на наружную поверхность его и чтобы при этом переносе э. д. с. в проводниках витка складывались, вынесенный проводник нужно расположить под соседним полюсом (переместить на полюсный шаг), как это показано на рис. 1–38. При таком переносе проводников из спиральной обмотки кольцевого якоря (рис. 1–3 и 1–6) получим петлевую обмотку, а из последовательной (рис. 1–8) – волновую. Числа параллельных ветвей этих обмоток (петлевой и волновой) будут разными.

б. Графическое изображение обмоток. Схемы обмоток.

Обычно обмотка якоря содержит большое число проводников, и если бы мы хотели показать все соединения между проводниками и витками обмотки так, как это изображено на рис. 1–11 и 1–12, то получили бы сложный и технически трудно выполнимый рисунок. Поэтому прежде чем перейти к подробному изучение свойств обмотки, необходимо остановиться на более наглядных способах изображения обмоток.

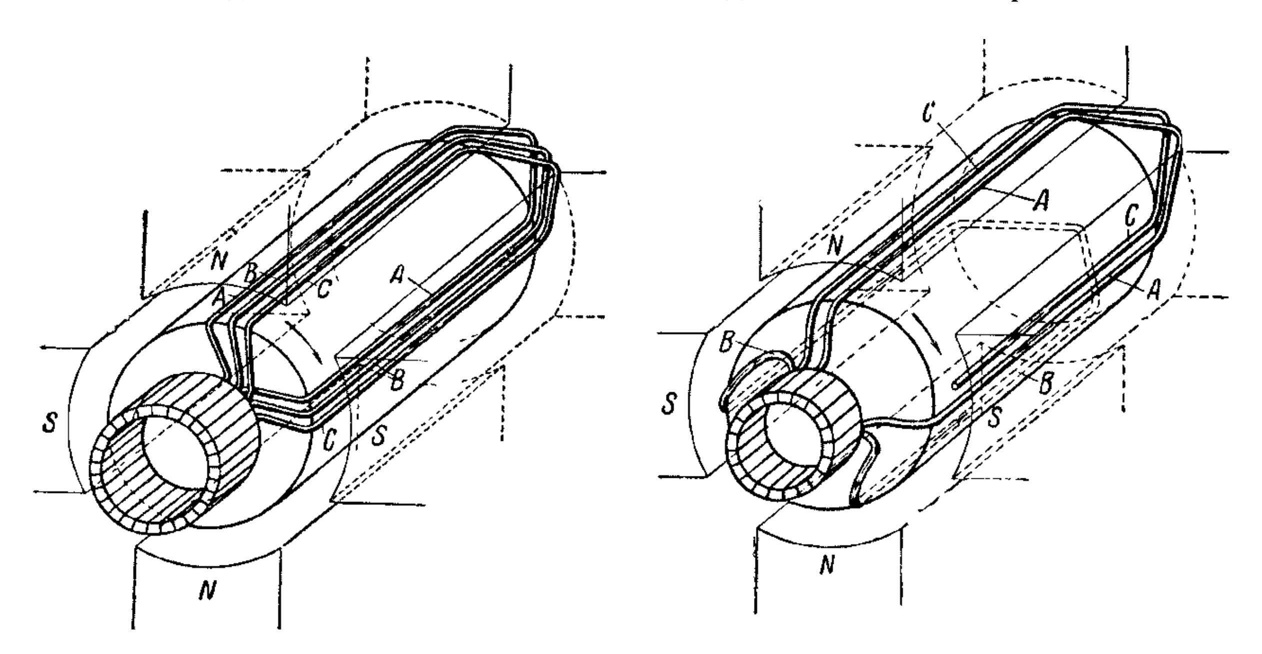


Рис. 1–11. Петлевая обмотка. Рис. 1–12. Волновая обмотка.

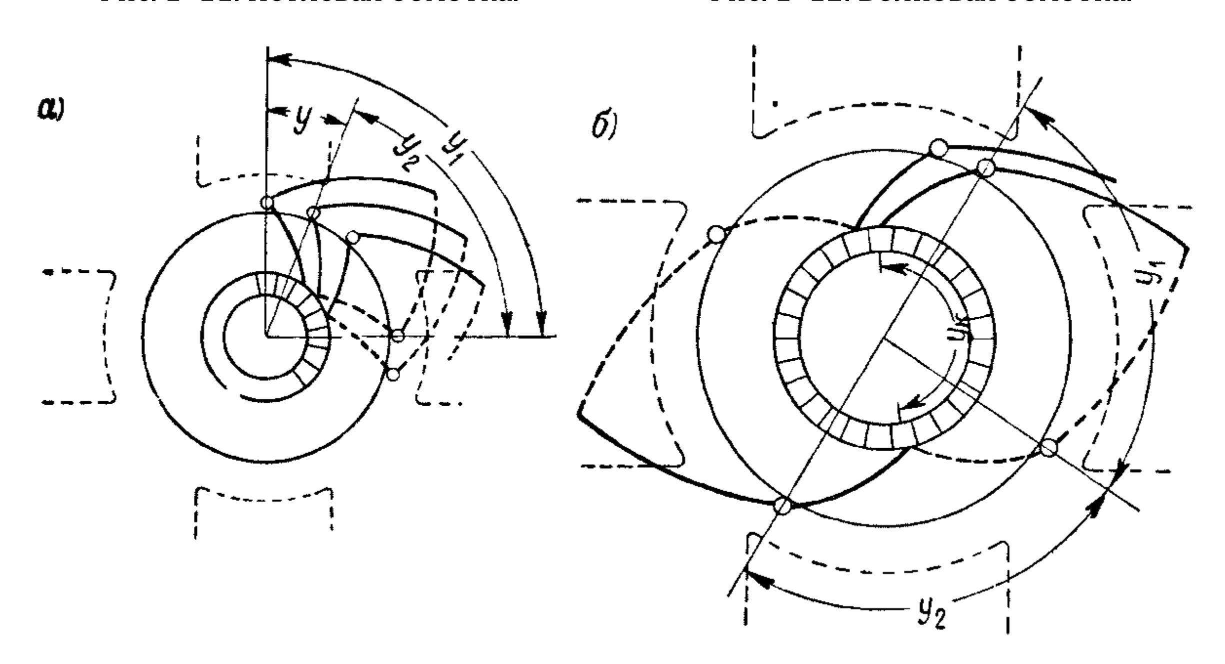


Рис. 1–13. Петлевая (*а*) и волновая (*б*) обмотка.

Существуют два способа графического изображения обмоток. При первом способе проектируют обмотку якоря со стороны коллектора на плоскость, перпендикулярную оси якоря, т. е. изображают вид обмотки со стороны коллектор.; при этом проводники расположенные на поверхности якоря, показывают кружочками, а невидимые торцовые соединения проводников со стороны, противоположной коллектору, выносят за окружность якоря.

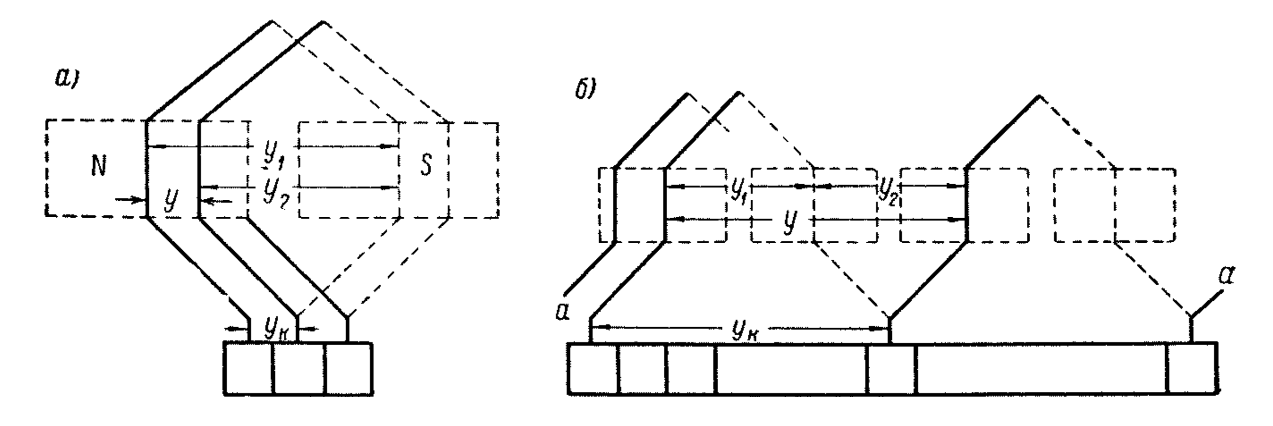


Рис. 1–14. Схемы петлевой (*а*) и волновой (*б*) обмоток.

При втором способе цилиндрическая поверхность якоря вместе с обмоткой развертывается на плоскость чертежа. На рис. 1–13 показаны петлевая (*а*) и волновая (*б*) обмотки, изображенные по первому способу, а на рис 1–14 даны те же обмотки, но изображенные по второму способу. Изображение обмоток указанными способами называют схемами обмоток. Схема обмотки дает ясное представление о порядке соединения проводников и витков обмотки и, как мы увидим ниже, возможность легко разобраться в ее свойствах.

в. Секции обмоток якоря.

Выше было указано, что как петлевая, так и волновая обмотки состоят из витков. Отличие одной обмотки от другой заключается в том, что витки со стороны коллектора соединяются между собой по разному. В той и другой обмотках к каждой коллекторной пластине присоединяются два проводника, из которых один является концом предыдущего витка, а другой – началом следующего. Так как каждый виток состоит из двух проводников и к каждой коллекторной пластине присоединяются также по два проводника, то очевидно, что число коллекторных пластин будет равно числу витков и в два раза меньше числа проводников. Число витков обмотки, как мы увидим ниже, определяется напряжением машины. Если число витков обмотки якоря принять равным числу коллекторных пластин, то при некотором напряжении число последних может получиться настолько большим, что коллектор трудно будет выполнить. Коллекторные пластины в этом случае будут очень тонкими, и в них трудно будет впаять проводники обмотки якоря или медные пластинки (петушки), к которым припаиваются проводники, это обстоятельство заставило бы сильно увеличить диаметр коллектора. Для получения приемлемых размеров коллектора можно искусственно уменьшить число коллекторных пластин, соединив последовательно несколько рядом лежащих витков, т. е. конец первого витка, не присоединяя его к коллектору, соединяют с началом второго, конец второго – с началом третьего и т. д. Начало первого витка и конец последнего присоединяют к коллектору. На рис. 1–15 показана часть волновой обмотки, у которой между двумя коллекторными пластинами находятся три последовательно соединенных витка. Часть обмотки, заключенную между двумя коллекторными пластинами, встречаемыми при обходе обмотки по схеме, называют секцией. В частном случае, когда каждый виток присоединяется к коллекторным пластинам, мы получим обмотку, в которой секции состоят из одного витка, т. е. витки обмотки якоря в этом случае являются секциями. Очевидно, что схема обмотки, т. е. порядок соединения секций, останется неизменной, будет ли секция состоять из одного витка или из нескольких. В том и другом случае секции необходимо соединять между собой таким образом, чтобы э. д. с. в них складывались. В дальнейшем для большей ясности схем обмоток мы будем считать, что секция состоит из одного витка.

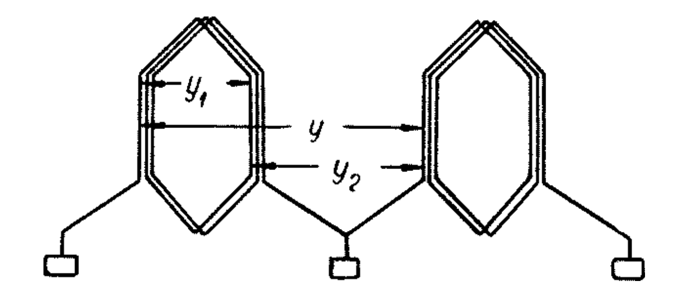


Рис. 1–15. Трехвитковые секции волновой обмотки.

Каждую сторону секции называют секционной стороной; если секция состоит из нескольких витков, то секционная сторона содержит столько проводников, сколько витков в секции.

г. Связь между числом секций и числом коллекторных пластин обмотки якоря.

Найдем, какая зависимость существует между числом проводников обмотки якоря, числом секций и числом коллекторных пластин. Обозначим N – число проводников обмотки якоря, S – число секций обмотки якоря, w – число витков в секции и K – число коллекторных пластин. Общее число витков обмотки якоря равно числу проводников N, деленному на два, ибо каждый виток состоит из двух проводников. Число секций обмотки якоря S равно общему числу витков обмотки якоря, деленному на число витков в секции, т. е.

$$S = \frac{N}{2 \times w}$$

Далее, каждая секция имеет два конца; к каждой коллекторной пластине присоединяются два конца – начало одной секции и конец другой; поэтому число коллекторных пластин равно числу секций:

$$K = S = \frac{N}{2 \times w}$$

д. Шаги обмотки.

Для выполнения секций обмотки якоря необходимо знать их ширину, т. е. расстояние между проводниками обмотки якоря, соединяемыми со стороны, противоположной коллектору. Расстояние между проводниками (секционными сторонами) одной секции называют первым шагом обмотки и обозначают через y_1 (рис. 1–13 и 1–14). Это расстояние для любой обмотки (петлевой или волновой) должно равняться или незначительно отличаться от расстояния между серединами соседних полюсов (полюсного шага). Только в этом случае э. д. с. соединяемых проводников будут складываться. Первый шаг представляет собой ширину витка обмотки. Выполняя обмотку, мы конец данной секции соединяем с началом следующей. Это соединение в петлевой и волновой обмотках выполняется по разному. Расстояние между концом данной секции и началом следующей, с которой она соединяется, называют вторым шагом и обозначают через y_2 (рис. 1–13 и 1–14). Второй шаг определяет расстояние между проводниками (секционными сторонами), соединенными со стороны коллектора. Знание первого (y_1) и второго (y_2) шагов обмотки не дает еще полного представления о ней. Действительно, зная эти шаги, еще трудно сказать, какая будет обмотка – петлевая или волновая. Все зависит от того, в какую сторону мы будем смещаться, соединяя конец данной секции с началом следующей. Если мы сместимся назад, к началу исходной секции, то получим петлевую обмотку, если вперед, то получим волновую обмотку. Эту неопределенность можно устранить, если задать расстояние между началами секций, встречаемыми при обходе обмотки по схеме. Расстояние между началами двух секций, следующих друг за другом по схеме обмотки, называют результирующим шагом и обозначают через y. На рис. 1–13 и 1–14 можно видеть, что между шагами обмотки существует определенная зависимость:

для петлевой обмотки $y = y_1 - y_2$ (1–1)
для волновой обмотки $y = y_1 + y_2$ (1–2)

Далее, для выполнения обмотки необходимо знать расстояние между коллекторными пластинами, к которым присоединены начало и конец витка. Расстояние между двумя коллекторными пластинами, к которым присоединяются начало и конец секции, называют шагом по коллектору и обозначают через $y_К$. Для выполнения обмотки вполне достаточно знать шаги обмотки: первый (y_1), второй (y_2), результирующий (y) и шаг по коллектору ($y_К$). Как было указано ранее, в настоящее время обмотки якорей машин постоянного тока выполняются в виде двухслойных обмоток. Если число секций обмотки небольшое, то число пазов берут равным числу секций. В этих случаях в каждом пазу лежат по две секционные стороны: одна – вверху паза, а другая – внизу (конечно, эти секционные стороны принадлежат разным секциям).

В тех случаях, когда число секций получается большим, число пазов уменьшают, укладывая вверху и внизу паза по нескольку секционных сторон рядом – обычно не больше пяти. Этим самым мы заменяем одним реальным пазом несколько пазов, в которых было бы только по две секционные стороны или по два проводника.

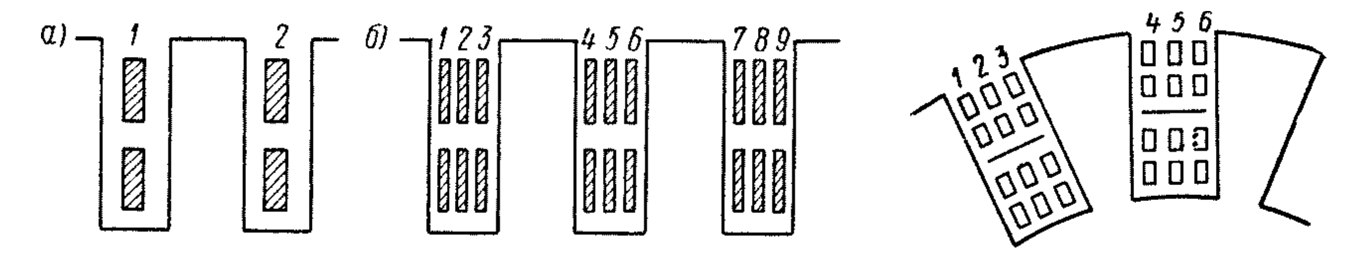


Рис. 1–16. Пазы якоря с одной секционной стороной – одним элементарным пазом (а) и с тремя секционными сторонами – тремя пазами

Рис. 1–17. Укладка проводников в паз при двухвитковых секциях.

На рис. 1–16, *а* изображены пазы с одной секционной стороной по ширине паза, а на рис. 1–16, б – с тремя сторонами. Паз, в котором по ширине лежит одна секционная сторона, называется простейшим или элементарным. Паз, показанный на рис. 1–16, *б*, представляет собой три элементарных паза, совмещенных в одном реальном пазу. Таким образом, *элементарным пазом* мы будем называть две секционные стороны, расположенные друг под другом. В тех случаях, когда секция имеет несколько витков, секционная сторона будет состоять из нескольких проводников. На рис. 1–17 показан реальный паз, состоящий из трех элементарных пазов, причем секции имеют по два витка. Назовем расстояние между соседними элементарными пазами промежутком или интервалом; при этом не будем считаться с тем, что этот промежуток при переходе от одного реального паза к соседнему больше. Шаги обмотки y_1, y_2 и y можно выражать числом промежутков между соединяемыми секционными сторонами. Например, если $y_1 = 6$, то нужно от какого–либо проводника (или, иначе, секционной стороны) принятого за начало секции (например, проводник, лежащий вверху паза), отсчитать шесть промежутков и со стороны, противоположной коллектору, соединить его с проводником, лежащим внизу седьмого элементарного паза. Так как на каждый элементарный паз приходится по две секционные стороны, то число элементарных пазов по всей окружности равно числу секций или, согласно ранее полученному выводу, числу коллекторных пластин. На рис. 1–16 и 1–17 показана нумерация элементарных пазов. Следует отметить, что направление отсчета пазов, секций и коллекторных пластин принято вести по часовой стрелке, глядя со стороны коллектора. Обозначим число проводников в пазу через $s_п$, а число пазов якоря через Z, тогда число коллекторных пластин, а следовательно, и число элементарных пазов, будет:

$$K = \frac{N}{2 \times w} = s_{П} \times \frac{Z}{2 \times w} = u_{п} \times Z \quad (1-3)$$

где $u_п = \frac{S_п}{2 \times w}$ число секционных сторон, лежащих по ширине паза в каждом слое обмотки якоря, т. е. число элементарных пазов или число коллекторных пластин, приходящихся на один реальный паз. Указанные на рис. 1–16 и 1–17, расположения проводников в пазах являются наиболее распространенными. Однако для многих якорей применяют и другие расположения проводников в пазах. Так, для якорей низковольтных генераторов с небольшим числом проводников применяют однослойные обмотки – в каждом пазу лежит один проводник. В этом случае два рядом лежащих паза следует рассматривать как один элементарный и нумерацию проводников выполнять по рис. 1–18.

В двигателях для трамваев, троллейбусов и вагонов (тяговых двигателях) якоря имеют большое число проводников. Для уменьшения ширины пазов в таких якорях применяют так называемую вертикальную укладку секций в пазах, при которой уменьшается толщина изоляции по ширине паза. На рис. 1–19 показано расположение и нумерация секционных сторон при такой укладке. Для осуществления присоединения к коллектору проводники перегибаются или расплющиваются.

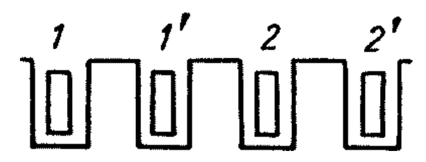


Рис. 1–18. Однослойная обмотка.

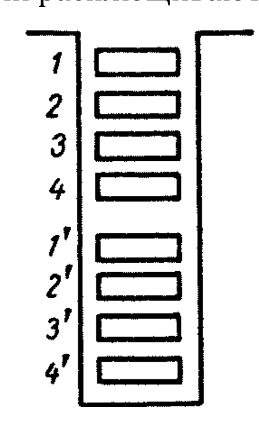


Рис. 1–19. Вертикальная укладка секций в пазах $u_п = 4$.

1–4. Простая петлевая (параллельная) обмотка.

а. Шаги обмотки.

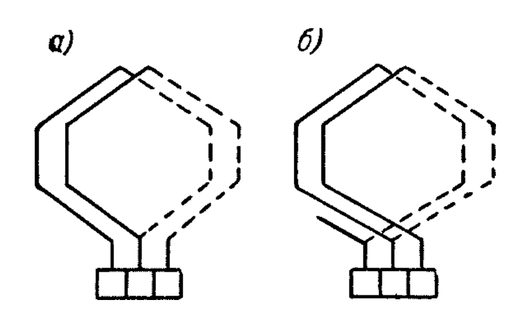


Рис. 1–21. Правая (*а*) и левая (*б*) петлевые обмотки.

Согласно предыдущему, стороны каждой секции должны быть удалены друг от друга на расстояние, равное или близкое к полюсному делению. Это расстояние обычно выражают либо числом элементарных пазов, либо числом реальных зубцов, расположенных между сторонами секции. Поэтому, если общее число элементарных или реальных пазов якоря разделить на число полюсов машины, мы получим первый шаг обмотки, который, если вести счет по элементарным пазам, равен:

$$y_1 = \frac{K}{2p} \quad (1-4)$$

Первый шаг обмотки, выражаемый реальным число пазов, находящихся между сторонами секции, мы будем называть *шагом по пазам* и обозначать через $y_п$. Таким образом:

$$y_п = \frac{Z}{2p} \quad (1-5)$$

Рис. 1–20. Равносекционная (*а*) и ступенчатая (*б*) обмотки.

При определении шагов обмотки по формуле (1–4) может оказаться, что для шага обмотки получится дробное число, что лишено смысла, так как между сторонами секции не может быть расположено дробное число элементарных пазов.

Поэтому формулу следует исправить следующим образом: первый шаг по элементарным пазам:

$$y_1 = \frac{K \pm b}{2p} = \frac{K}{2p} \pm \varepsilon \quad (1-6)$$

где b – наименьшее число, которое будучи подставлено в формулу (1–6), дает для y_1 целое число, ε – сокращение шага

$$\varepsilon = \frac{b}{2p}$$

Сделаем небольшое замечание о двух возможных выполнениях обмотки с несколькими секционными сторонами, расположенными рядом в пазу. В первом случае секции одними своими сторонами лежат вверху одного паза, другими сторонами – внизу другого паза, удаленного от первого примерно на расстояние полюсного шага (рис. 1–20, *а*). Во втором случае секции одними своими сторонами также лежат вверху одного паза, но другими сторонами – в нижнем слое двух соседних пазов (рис. 1–20, *б*). В первом случае все секции имеют одинаковую ширину, и стороны их могут быть предварительно изолированы вместе, образуя катушку. Во втором случае ширина отдельных секций неодинаковая: имеются длинные и короткие секции, поэтому изолировать вместе стороны секции нельзя, так как нижние их стороны лежат в разных пазах. Обмотка с секциями одинаковой ширины называется равносекционной, а разной ширины – ступенчатой. Так как начало и конец секции присоединяются к соседним коллекторным пластинам, шаг по коллектору:

$$y_К = 1 \quad (1-7)$$

В петлевой обмотке конец витка, как было указано ранее, соединяется с началом следующего витка, расположенного рядом с исходным витком, поэтому результирующий шаг (число промежутков между началами секций) для петлевой обмотки:

$$y = 1 \quad (1-8)$$

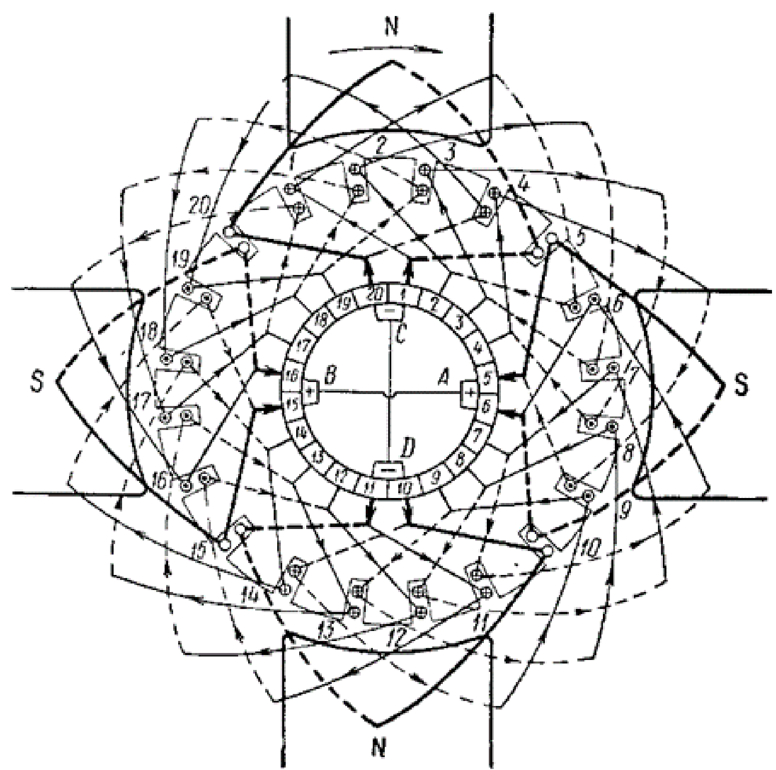


Рис. 1–22. Петлевая обмотка.

Второй шаг обмотки определяется из формулы (1–1):

$$y_2 = y_1 - y \quad (1-9)$$

Осуществляя петлевую обмотку, мы, начиная ее с какой–либо секции, в дальнейшем перемещаемся к соседней; при этом можно соединить данную секцию с секцией, расположенной вправо или влево от исходной (рис. 1–21). В первом случае при выполнении обмотки мы будем перемещаться по якорю вправо (по часовой стрелке), во втором случае – влево. В соответствии с направлением перемещения по якорю эти обмотки получили название правообегающей или левообегающей, или правой и левой. Для левой обмотки:

$$y_к = y = -1$$

Пример: Определить шаги обмотки четырехполюсной машины с числом полюсов $2p = 4$. Число пазов якоря $Z = 20$, в каждом пазу $s_П = 2$ проводника (рис. 1–22).

Так как в этом примере в пазу лежат только два проводника, то число коллекторных пластин и число элементарных пазов будут равны числу пазов якоря, т. е. двадцати. По формуле (1–6) определяем первый шаг обмотки:

$$y_1 = \frac{K \pm b}{2p} = \frac{20 \pm 0}{4} = 5$$

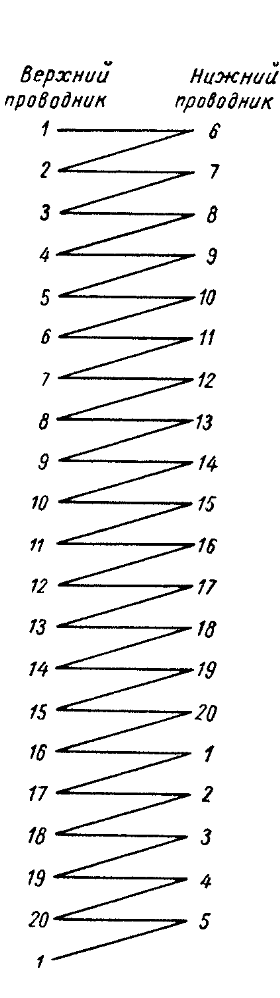


Таблица 1–1.

Результирующий шаг обмотки $y = 1$. Второй шаг обмотки:

$$y_2 = y_1 - y = 5 - 1 = 4$$

Шаг по коллектору $y_К = 1$. Для удобства вычерчивания схемы обмотки можно предварительно составить таблицу, из которой было бы видно, в какой последовательности нужно соединять проводники (табл. 1–1). В этой таблице проводники, связанные горизонтальными линиями, образуют секции, т. е. соединяются со стороны, противоположной коллектору; проводники, связанные наклонными линиями, соединяются со стороны коллектора. Номера коллекторных пластин совпадают с номерами верхних проводников. При правильно вычисленных шагах мы должны в таблице охватить все верхние и нижние проводники и вернуться к исходному проводнику, т. е. обмотка должна замкнуться.

б. Число параллельных ветвей обмотки.

Число параллельных ветвей простой петлевой обмотки, поскольку она представляет собой видоизмененную спиральную обмотку кольцевого якоря, равно числу полюсов машины. К этому же выводу можно прийти, проследив по схеме за направлением э. д. с. в витках обмотки якоря. Начиная обмотку с коллекторной пластины 1 (рис. 1–23), легко установить, что в витках 2, 2, 3, 4, начала которых лежат под верхним северным полюсом, э. д. с. складываются, далее мы подходим к витку 5, в котором э. д. с. не индуктируется, так как он в данный момент расположен между полюсами, в нейтральной зоне; за витком 5 следует виток 6.

Проводник, составляющий начало шестого витка, расположен под южным полюсом, вследствие чего э. д. с. в этом витке имеет противоположное направление. Такое же направление э. д. с. будет в витках 7, 8 и 9.

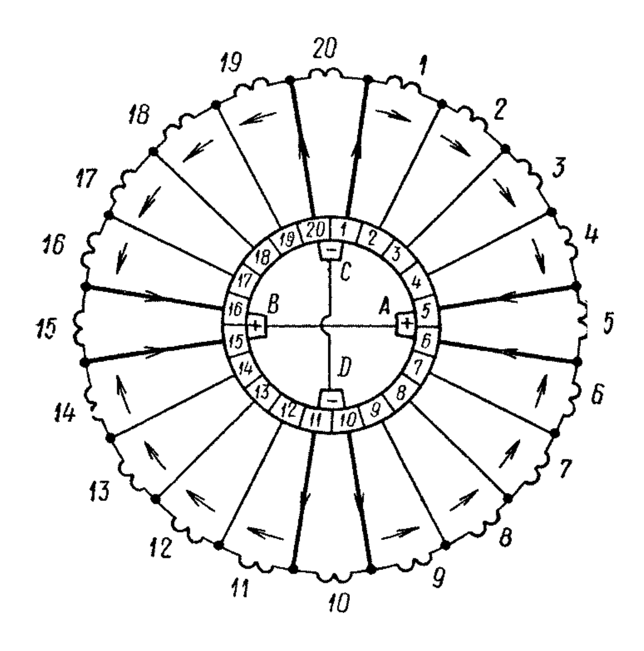


Рис. 1–23. Схема, эквивалентная петлевой обмотке, изображенной на рис. 1–22.

Из рассмотрения этой части обмотки якоря можно сделать заключение, что в петлевой обмотке складываются э. д. с. тех витков, начала которых расположены под одним полюсом. Таким образом, в петлевой обмотке по направлению э. д. с. витки могут быть разбиты на столько частей, сколько полюсов имеет машина, т. е. в рассматриваемом примере на четыре части. Это дает возможность легко вычертить схему, эквивалентную обмотке якоря, которая показана на рис 1–22. На этой схеме витки изображены в виде катушек, направление э. д. с. в витках обозначено стрелками. Согласно предыдущему, при обходе обмотки якоря э. д. с. будет столько раз изменять свое направление, сколько полюсов имеет машина. В рассматриваемом случае четырехполюсной машины э. д. с. меняет направление 4 раза и обмотка имеет 4 параллельные ветви. Щетки замыкают накоротко витки, лежащие в нейтральной зоне, в которых э. д. с. не индуктируется. В общем случае многополюсной машины обмотка якоря будет иметь столько параллельных ветвей, сколько полюсов имеет машина, т. е. в петлевой обмотке:

$$2a = 2p \quad (1-10)$$

при этом проводники каждой параллельной ветви расположены под парой соседних полюсов, под одним полюсом они занимают верхний слой обмотки, под другим – нижний. При петлевой обмотке число щеточных пальцев (бракетов) должно обязательно быть равным числу полюсов машины. Действительно, если мы удалим щетки на одном из щеточных пальцев, например *A* (рис. 1–23), то из двух параллельных ветвей обмотки якоря ток во внешнюю цепь не пойдет и вследствие этого две другие параллельные ветви будут перегружены.

в. Расположение щеток на коллекторе.

Из рис. 1–22 видно, что щетки на коллекторе расположены под серединами главных полюсов (по оси главных полюсов). При этом секции, замкнутые накоротко щетками (секции 5,10,15 и 20), лежат в нейтральных зонах. Расположение щеток на коллекторе по отношению к главным полюсам зависит от формы лобовых частей секции со стороны коллектора.

При любой форме секции в момент замыкания ее накоротко щеткой она должна лежать в нейтральных зонах, поэтому при секциях, показанных на рис. 1–14, щетки будут расположены по осям главных полюсов. В машинах небольшой мощности, обмотки якорей которых выполняются из круглой проволоки, секции имеют вид, показанный на рис. 1–24. В этом случае щетки на коллекторе будут расположены по оси добавочных полюсов – по оси, проходящей между главными полюсами. При выполнении схемы соединений машины (главные и дополнительные полюсы) часто необходимо знать полярность щеток.

Рис. 1–24. Форма секции небольшой машины. мощности.

Для этой цели полезно запомнить, что при правообегающей петлевой обмотке и обычной форме секций (по рис 1–14, *а*) при вращении якоря по часовой стрелке под южным полюсом расположена положительная щетка. При обратном направлении вращения или левой обмотке полярность щетки, расположенной под южным полюсом, будет отрицательной.

1–5. Сложная петлевая обмотка.

а. Принцип образования обмотки и число параллельных ветвей.

В тех случаях, когда требуется увеличить число параллельных ветвей обмотки, например в быстроходных машинах большой мощности или в низковольтных машинах с большим током, применяют сложно–петлевую обмотку. Ее можно представить себе как несколько простых петлевых обмоток, наложенных на один якорь. Между собой эти обмотки соединяются проводниками, которые называют уравнительными соединениями и, кроме того, щетками на коллекторе. В выполненной таким образом обмотке число параллельных ветвей $2a$ будет равно числу параллельных ветвей каждой петлевой обмотки $2p$, умноженному на число простых петлевых обмоток, составляющих данную сложно–петлевую. Обозначим число простых петлевых обмоток через m. Каждая из них, согласно предыдущему, имеет число параллельных ветвей, равное числу полюсов машины, т. е. $2p$. Следовательно, число параллельных ветвей сложно–петлевой обмотки будет в m раз больше:

$$2a = 2p \times m \quad (1-11)$$

Для того чтобы щетки могли параллельно соединять обмотки, они должны перекрывать не менее m коллекторных пластин. До настоящего времени работа сложно–петлевых обмоток проверена при m = 2. Необходимость в применении сложно–петлевых обмоток с m больше двух и редко трех в практике не встречается. (В литературе сложно–петлевая обмотка часто встречается под названиями множественно–петлевая или многоходовая–петлевая).

б. Шаги обмотки.

Шаги сложно–петлевой обмотки можно определить, исходя из следующих соображений. Представим себе, что мы имеем наложенную на якорь простую петлевую обмотку, для которой шаг по коллектору $y_К$ = 1, и результирующий шаг y также равен единице. Для размещения остальных m = 1 простых петлевых обмоток, составляющих данную сложно–петлевую, необходимо секционные стороны и коллекторные пластины этой петлевой обмотки раздвинуть таким образом, чтобы между ними можно было разместить m = 1 добавочных секционных сторон и m = 1 добавочных коллекторных пластин; при этом число коллекторных пластин между началом и концом секции, т. е. шаг и по коллектору, увеличится и станет равным m. То же самое можно сказать и относительно результирующего шага.
Таким образом, для сложно–петлевой обмотки результирующий шаг по якорю:

$$y = m \quad (1-12)$$

шаг по коллектору:

$$y_K = m \quad (1-13)$$

Первый шаг обмотки y_1, т. е. расстояние между сторонами витка со стороны, противоположной коллектору, и для сложно–петлевой обмотки должен быть по возможности ближе к полюсному делению и, следовательно:

$$y_1 = \frac{K \pm b}{2p} \quad (1-14)$$

где b, так же как и в формуле 1–6, наименьшее число, которое необходимо подставить в выражение (1–14) для того, чтобы получить целое число.

На рис. 1–25 изображена схема сложно–петлевой обмотки с m = 2 для якоря четырехполюсной машины, у которого число пазов Z = 20 и в каждом пазу $s_п$ равно двум проводникам. Шаги обмотки при этом следующие:

$$y_1 = \frac{K - b}{2p} = \frac{20}{4} = 5 \ (b \ = \ 0)$$

$$y = y_K = m = 2$$

$$y_2 = \ y_1 - y = \ 5 - 2 = 3$$

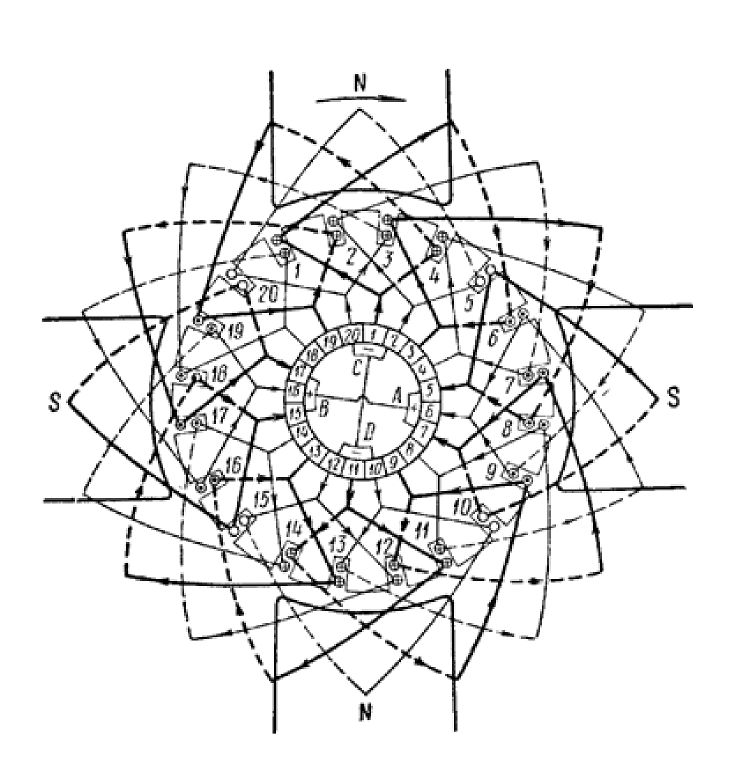


Рис. 1–25. Сложно–петлевая обмотка.

При внимательном рассмотрении схемы обмотки нетрудно убедиться, что обмотка имеет $2a$ = 8 параллельных ветвей. На рис. 1–25 одна из составляющих обмоток показана жирными линиями, а другая – тонкими. Распределение секций по параллельным ветвям схематически представлено на рис. 1–26. Секции 5, 10,15 и 20 для момента, изображенного на рис. 1–25, лежат в нейтральных зонах и замкнуты накоротко щетками. Из рис. 1–26 видно, что к каждой положительной щетке ток поступает из четырех параллельных ветвей. Во внешнюю цепь ток поступает из двух щеток, т. е. из восьми параллельных ветвей. При выполнении сложно–петлевой обмотки могут встретиться два случая. В первом из них после соединения всех секций одной петлевой обмотки, составляющей сложно–петлевую, конец последней секции ее соединяют с началом второй петлевой обмотки и далее, после обхода всех секций, обмотка замыкается. Схематически этот случай показан на рис. 1–27, обмотка при этом называется *однократно–замкнутой.* Во втором – каждая из петлевых обмоток (или часть их), составляющих сложно–петлевую, замыкаются на себя. Такая обмотка называется многократно–замкнутой. Двухкратно–замкнутая обмотка схематически показана на рис. 1–26. Число замыканий обмотки определяется общим наибольшим делителем шага по коллектору $y_к$ = m и числом коллекторных пластин K, таким образом, при m = 2 (наиболее часто встречающийся в практике случай) обмотки с нечетным числом коллекторных пластин K будут однократно–замкнутыми, а обмотки с четным числом коллекторных пластин – двухкратно–замкнутыми. В последнем случае обмотка распадается на две самостоятельные обмотки, которые соединяются между собой уравнительными соединениями и щетками. Правильность указанных положений подтверждается следующими соображениями: при y_K = m = 2, начиная обмотку с нечетной коллекторной пластины 2, мы будем соединять нечетные коллекторные пластины 7, 5, 5, 7 и т. д., пока не подойдем к последней нечетной пластине. Если эта нечетная пластина одновременно является последней коллекторной пластиной, то, сдвинувшись на шаг по коллектору, т. е. на две пластины, мы подойдем к четной пластине 2. Далее обмотка пойдет по четным пластинам и, охватив все четные пластины, замкнется.

Если последняя нечетная пластина не является последней пластиной (число коллекторных пластин четное), то, сдвинувшись от нее на две пластины (шаг по коллектору), мы подойдем к пластине 1, и обмотка замкнется. В этом случае обмотка распадается на две части, из которых одна займет все четные, а другая все нечетные пластины.

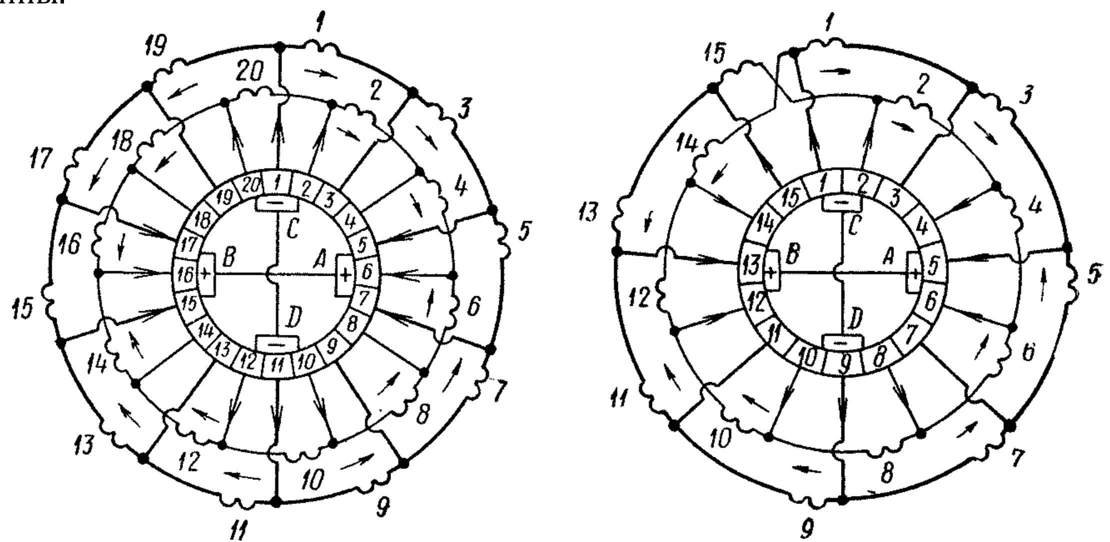


Рис. 1–26. Схема, эквивалентная сложно–петлевой обмотке рис. 1–25.

Рис. 1–27. Однократно–замкнутая сложно–петлевая обмотка.

Это подтверждается ниже приведенным примером. Пример. Вычислить шаги для сложно–петлевой обмотки при $2a$ = 8. Число полюсов машины $2p$ = 4, т. е. обмотка состоит из двух простых петлевых обмоток (m = 2), число пазов якоря Z = 20, число проводников в пазу $s_{\text{П}}$ = 4. Число коллекторных пластин обмотки K равно числу проводников, деленному на 2, т. е.:

$$K = \frac{N}{2} = \frac{Zs_{\text{П}}}{2} = \frac{20 \times 4}{2} = 40$$

Первый шаг обмотки по элементарным пазам:

$$y_1 = \frac{K \pm b}{2p} = \frac{40 - 4}{4} = 9$$

Первый шаг обмотки по элементарным пазам можно было бы взять равным 10, но в этом случае обмотка не была бы ступенчатой. Действительно, при шаге y_1 = 10 1–й проводник необходимо было бы соединить с проводником 1 + 10 = 11, который лежит в нижнем слое 6–го паза у левой его стенки; 2–й проводник, лежащий также вверху 1–го паза, соединялся бы с 12–м проводником, расположенным в нижнем слое 6–го паза, у правой его стенки, т. е. секции 1 и 2, расположенные вместе в 1–м пазу, лежали бы вместе и в 6–м пазу. Шаг по коллектору и результирующий шаг обмотки равны:

$$y_K = y = m = 2$$

Второй шаг обмотки по элементарным пазам:

$$y_2 = y_1 - y = 9 - 2 = 7$$

Согласно полученным шагам обмотки, соединение секционных сторон (проводников) следует вести в порядке, указанном в табл. 1–2. Из этой таблицы видно, что, охватив половину общего числа проводников (41), обмотка замкнулась; оставшиеся 40 проводников дадут вторую петлевую обмотку.

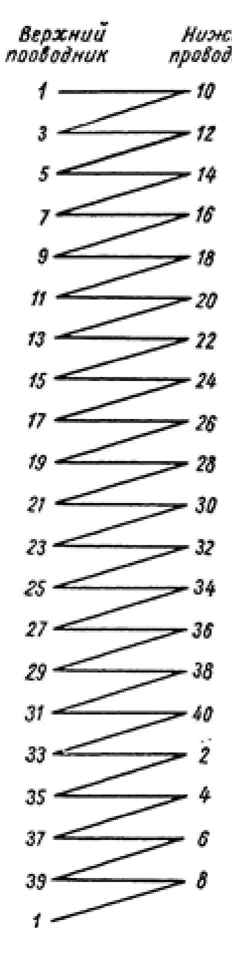


Таблица 1–2.

Двухкратно–замкнутая сложно–петлевая обмотка, как следует из углубленного изучения ее, может быть выполнена при числе коллекторных пластин на паз $u_П$ = 1, 2, 3 и 4 и должна быть ступенчатой. Шаги этой обмотки определяются по формулам:

$$y_1 = \frac{K}{2p} \pm 1 \qquad y_2 = \frac{K}{2p} \pm 1$$

при этом знаки перед единицей для y_1 и y_2 следует брать разными.

1–6. Простая волновая обмотка.

а. Шаги обмотки.

Как было указано ранее, при выполнении волновой обмотки последовательно соединяются секции, расположенные под соседними парами полюсов. На рис. 1–28 приведены примеры выполнения волновой обмотки для четырех– и шестиполюсных машин, из которых видно, что, для того чтобы обойти вокруг якоря, в четырехполюсной машине необходимо сделать два шага и соединить две секции последовательно, а в шестиполюсной машине – три шага и соединить три секции. После одного обхода вокруг якоря, для того чтобы обмотка не замкнулась, мы подходим к проводнику и коллекторной пластине, расположенным рядом с исходными, и начинаем следующий обход вокруг якоря и т. д.

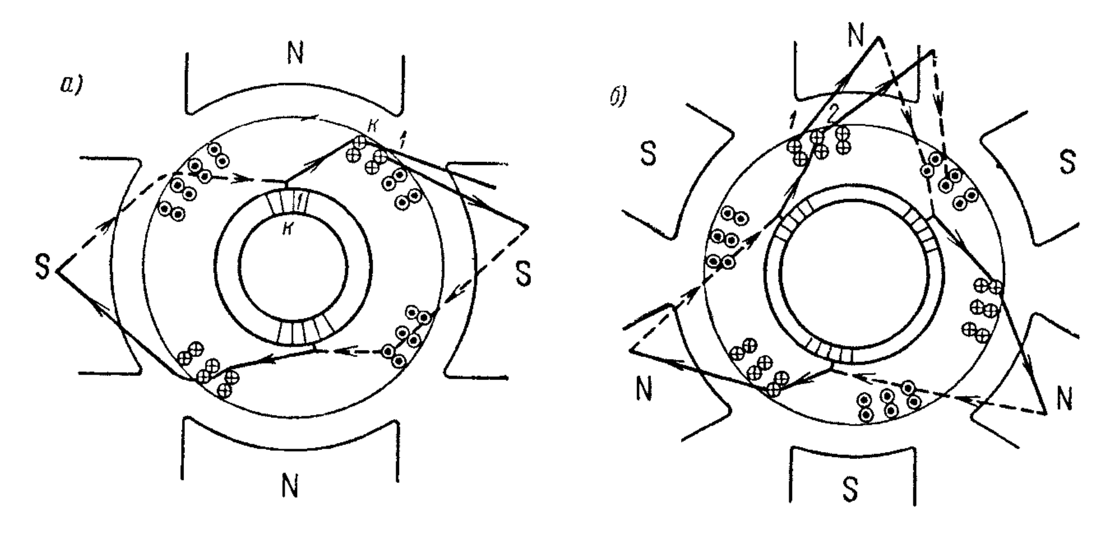


Рис. 1–28. Простые волновые обмотки четырехполюсной (*а*) и шестиполюсной (*б*) машин.

Из сказанного можно сделать следующие выводы:

1) одному обходу вокруг якоря в волновой обмотке соответствует число шагов, равное числу пар полюсов *p*.

2) за один обход вокруг якоря, считая от первой секционной стороны (исходной), мы перемещаемся на число элементарных пазов по якорю, равное общему числу элементарных пазов по окружности якоря ±1, т. е. на число элементарных пазов, равное $K \pm 1$, (число элементарных пазов равно числу коллекторных пластин *К*), где знак минус берется в тех случаях, когда при одном обходе вокруг якоря мы не доходим на один промежуток до исходной секционной стороны (рис. 1–28, *а*), а знак плюс, когда переходим на один промежуток исходную секционную сторону (рис. 1–28, *б*).

В первом случае обмотка будет левоходовой, а во втором – правоходовой. Те же самые выводы можно сделать и в отношении одного обхода вокруг коллектора: для того чтобы один раз обойти вокруг коллектора при следовании по схеме обмотки, необходимо сделать p шагов и при этом переместиться на $K\pm1$ коллекторных пластин. Для определения шага обмотки можно воспользоваться полученными вводами. Действительно, за p шагов обмотки мы перемещаемся на $K\pm1$ промежутков по якорю, т. е.

$$yp = K \pm 1 = u\text{п} = Z \pm 1$$

откуда:

$$y = \frac{K \pm 1}{p} = \frac{u_{\Pi Z} \pm 1}{p} \quad (1-15)$$

Из этого выражения видно, что результирующий шаг обмотки заменяется примерно числу промежутков между элементарными пазами, приходящимися на два полюса. Если на якоре четырехполюсной машины имеется 19 секций, тогда на два полюса приходится число промежутков, равное:

$$\frac{K}{p} = \frac{19}{2} = 9½$$

результирующий же шаг обмотки:

$$y = \frac{19 \pm 1}{2} = 9 \text{ или } 10$$

т. е. близок к 9½. Так как первый шаг обмотки y_1 (ширина секции) должен равняться примерно числу промежутков, приходящихся на один полюс, то y_1, следовательно, должен равняться приблизительно половине результирующего шага и может быть определен по формуле (1–6):

$$y_1 = \frac{K \pm b}{2p} \approx \frac{y}{2}$$

Но результирующий шаг равен сумме первого и второго шагов:

$$y = y_1 + y_2 \quad \text{откуда:} \quad y_2 = y - y_1$$

При одном обходе по якорю мы одновременно делаем один обход по коллектору, поэтому число шагов по якорю равно числу шагов по коллектору, и выражение для шага по коллектору ($y_К$) будет таким же, как и для шага по элементарным пазам (y):

$$y_K = y = \frac{K \pm 1}{p} \quad (1-16)$$

В нашем примере:

$$y_1 = \frac{9 \text{ или } 10}{2}, \text{т. е. } y_1 \text{можно взять равным 4 или 5}$$

$$y_2 = y - y_1 = 9 - (4 \text{ или } 5) = 5 \text{ или } 4 \quad \text{и} \quad y_K = \frac{K \pm 1}{p} = \frac{19 \pm 1}{2} = 9 \text{ или } 10$$

На рис. 1–29 показана схема этой обмотки при шагах обмотки $y = y_K = 9$; $y = 4$; $y_2 = 5$.

б. Число параллельных ветвей обмотки.

Число параллельных ветвей простой волновой обмотки при любом числе полюсов машины равно двум: $2a = 2 \quad (1-17)$

К этому выводу можно прийти, рассматривая рис. 1–29. Начиная обход по якорю с секции 1, лежащей под правым краем верхнего северного полюса, мы при каждом обходе будем смещаться на один промежуток влево от начала секции 7, т. е. второй обход по якорю начнем с верхней стороны секции 19, третий обход – с секции 18 и т. д. Э. д. с. всех секций, попадающих в один обход по якорю, складываются между собой, а э. д. с. отдельных обходов будут складываться только до тех пор, пока секционная сторона нового обхода (секции 15) не попадет под правый край соседнего южного полюса. При таких обходах, т. е. обходах с началами в секциях 1, 19, 18, 17, мы займем все верхние секционные стороны, лежащие под северными полюсами (так как начала секций лежат вверху паза), и все нижние секционные стороны, лежащие под южными полюсами (так как концы секций лежат внизу паза); другими словами, мы обойдем половину обмотки якоря. Обходя якорь дальше, мы увидим, что, начиная с верхней стороны секции 15 и кончая верхней стороной секции 13, т. е. когда начала обходов лежат под соседним южным полюсом, э. д. с. всех секций каждого обхода и э. д. с. обходов будут складываться. Отличие от предыдущих обходов будет заключаться только в том, что направления э. д. с. этих обходов будут противоположны э. д. с. прежних обходов. Очевидно, что последними обходами мы прошли все верхние секционные стороны, которые лежат под южными полюсами, и все нижние секционные стороны, которые лежат под северными полюсами, т. е., другими словами, прошли вторую половину обмотки. При положении якоря, изображенном на рисунке, видно, что э. д. с. обеих половин обмотки расходятся от коллекторной пластины 2 и сходятся на коллекторной пластине 16. Если на эти коллекторные пластины наложить щетки, то по отношению к ним обе половины обмотки будут включены параллельно. Таким образом, простая волновая обмотка имеет две параллельные ветви, и для отвода тока от коллектора достаточно только двух щеточных бракетов (пальцев) со щетками (например, A и B), отстоящих друг от друга на одно полюсное деление по коллектору.

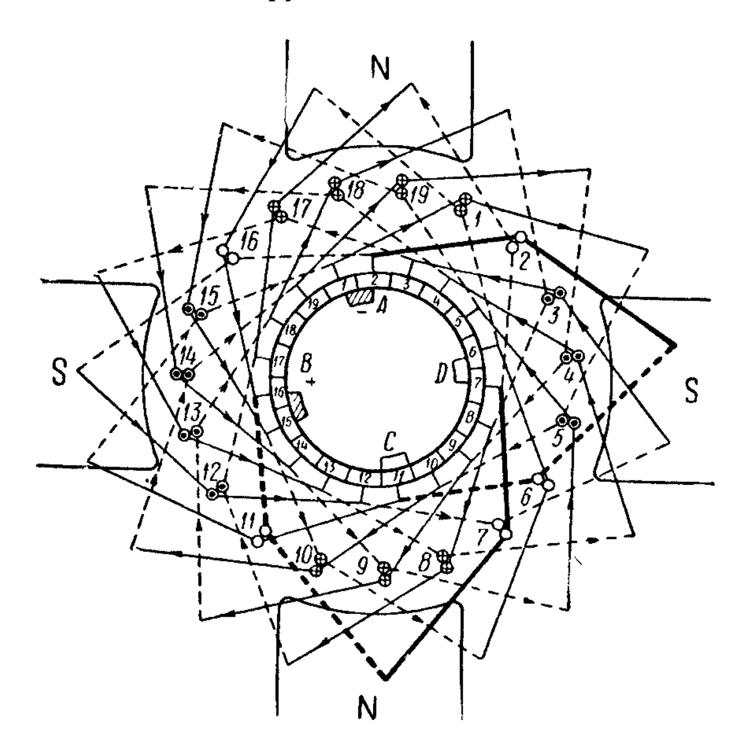


Рис. 1–29. Простая волновая обмотка.

Проводники каждой параллельной ветви расположены под всеми полюсами. На практике для уменьшения размеров коллектора обычно устанавливают полное число щеточных бракетов, равное числу полюсов машины. При наложении на коллектор дополнительных щеток *C* и *D* свойства обмотки якоря не меняются. Щетки *C* и *D* соединяются параллельно, соответственно со щетками *A* и *B*, секциями обмотки якоря.

Щетка C соединяется со щеткой A секцией, состоящей из верхнего проводника паза 2 и нижнего – паза 6, а щетки D и B – секцией, состоящей из верхнего проводника 7 и нижнего 11. Обе эти секции лежат между полюсами в нейтральных зонах, поэтому э. д. с. в них нет, и замыкание накоротко этих секций проводниками, соединяющими одноименные щетки, не опасно. На рис. 1–30 дана схема, эквивалентная обмотке якоря. На этой схеме показано распределение секций по параллельным ветвям и расположение щеток. Проводники, образующие секцию, соединены между собой знаком ^ и обозначены цифрой и буквами "в" (верхний) и "н" (нижний). Прямые линии, соединяющие секции, соответствуют коллекторным пластинам, между которыми включены секции, причем номер коллекторной пластины соответствует номеру верхнего проводника секции. Так, например, секция, состоящая из проводников 2в и 6н, включена между пластинами 2 и 11.

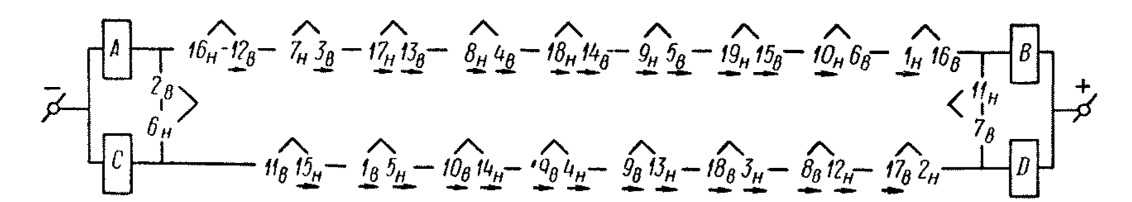


Рис. 1–30. Схема, эквивалентная обмотке якоря рис. 1–29.

Стрелки под номерами проводников указывают э. д. с., а в тех случаях, когда их нет, э. д. с. проводника равна нулю (он расположен в нейтральной зоне). Обход обмотки якоря начинаем со щетки "А" и коллекторной пластины 2 и в эквивалентную схему вносим все секции, которые встречаем при обходе обмотки якоря, следуя по рис. 1–29. Из этой схемы видно, что одноименные щетки соединены между собой секциями обмотки якоря, и если снять одну из щеток, например D), то все же ток будет поступать во внешнюю цепь из всей обмотки якоря. Ток из параллельной ветви, находящейся в нижней части рисунка, будет попадать в щетку B через секцию 7в – 11н.

1–7. Сложная волновая обмотка.

а. Число параллельных ветвей обмотки.

Сложная волновая обмотка представляет собой ряд волновых обмоток, уложенных в пазы одного якоря. Так как каждая волновая обмотка имеет две параллельные ветви, то сложно–волновая обмотка будет иметь число параллельных ветвей:

$$2a = 2m$$

где m – число простых волновых обмоток, в нее входящих. Между собой эти обмотки соединяются параллельно проводниками, которые называются уравнительными соединениями, и щетками на коллекторе. Желательно, чтобы число пластин, перекрываемое щеткой, было больше числа пар параллельных ветвей a. Из изложенного видно, что число параллельных ветвей сложно–волновой обмотки не связано с числом полюсов машины. Сложно–волновую обмотку в литературе часто называют множественно–волновой, последовательно–параллельной или многоходовой–волновой.

б. Шаги обмотки.

В простой волновой обмотке, при числе шагов обмотки равном числу пар полюсов машины, мы один раз обходили вокруг якоря и подходили к секционной стороне, лежащей рядом с исходной, и далее продолжали обходы вокруг якоря.

В сложно–волновой обмотке мы между исходной секционной стороной и началом следующего обхода должны оставить m – 1 свободных секционных сторон, которые принадлежат остальным m – 1 простым волновым обмоткам. Таким образом, после p шагов мы охватим все элементарные пазы, расположенные по окружности якоря ± m элементарных пазов (знак зависит от того, слева или справа от исходной секции мы окажемся после одного обхода). Можно написать следующее равенство, из которого определяется результирующий шаг обмотки по элементарным пазам:

$$yp = S \pm m = S \pm a = K \pm a = u_{\Pi Z} \pm \text{а}$$

а, откуда результирующий шаг обмотки:

$$y = \frac{K \pm a}{p} = \frac{u_{\Pi Z} \pm a}{p} \quad (1-18)$$

Шаг по коллектору определяют, исходя из аналогичных рассуждений, по формуле:

$$y\text{к} = \frac{K \pm a}{p} = \frac{u_{\Pi Z} \pm a}{p} \quad (1-19)$$

Сумма первого и второго шагов обмотки равна $y_1 + y_2$ = у, и каждый из них в отдельности равен:

$$y_1 \approx \frac{y}{2} \quad y_2 = y - y_1 \quad (1-20)$$

В сложно–волновых обмотках с a = 2 при нечетном числе пар полюсов (p – нечетное число 3, 5, 7) первый шаг обмотки y_1 должен быть точно равен у 12, и обмотка должна быть ступенчатой. При несоблюдении этого условия обмотка не может быть выполнена с уравнительными соединениями (см. §1–11, *в*). Пример. Определить шаги сложно–волновой обмотки при 2a = 4, число полюсов машины 2p = 6, число пазов Z = 26, в каждом пазу s_{Π} = 4 проводника. Число коллекторных пластин:

$$K = \frac{N}{2} = \frac{Z \times s_{\Pi}}{2} = \frac{26 \times 4}{2} = 52$$

Результирующий шаг обмотки:

$$y = \frac{K \pm a}{p} = \frac{52 + 2}{3} = 18$$

Первый шаг обмотки:

$$y_1 = \frac{y}{2} = \frac{18}{2} = 9$$

Второй шаг обмотки:

$$y_2 = y - y_1 = 18 - 9 = 9$$

Шаг по коллектору y_K равняется результирующему шагу обмотки, т. е равен 18: y_K = 18. Порядок соединения проводников, соответствующий вычисленным шагам обмотки, следующий: 1в–10н–19в–28н– 37в и т. д. На рис. 1–31 показан один обход обмотки якоря в развернутом виде. Сложно–волновая обмотка может быть, подобно сложно–петлевым обмоткам, однократно–замкнутой или многократно–замкнутой. Число замыканий обмотки определяется общим наибольшим делителем чисел, выражающих шаг по коллектору $y_{\text{к}}$ и число пар параллельных ветвей a = m. Определим в качестве примера кратность замыканий следующей обмотки якоря: число полюсов машины 2p = 6, число пазов якоря Z = 76, число коллекторных пластин на паз u_{Π} = 2, число параллельных ветвей 2a = 2m = 4 (m = a = 2), число коллекторных пластин K = Z × u_{Π} = 76 × 2 = 152.

Шаг по коллектору:

$$y_K = \frac{K \pm a}{p} = \frac{152-2}{3} = 50$$

Общий наибольший делитель чисел y_K – 50 и a = 2 равен двум, поэтому обмотка будет двукратно–замкнутой, т. е. состоящей из двух отдельных обмоток, причем одной из них будут принадлежать нечетные пластины, а другой – четные.

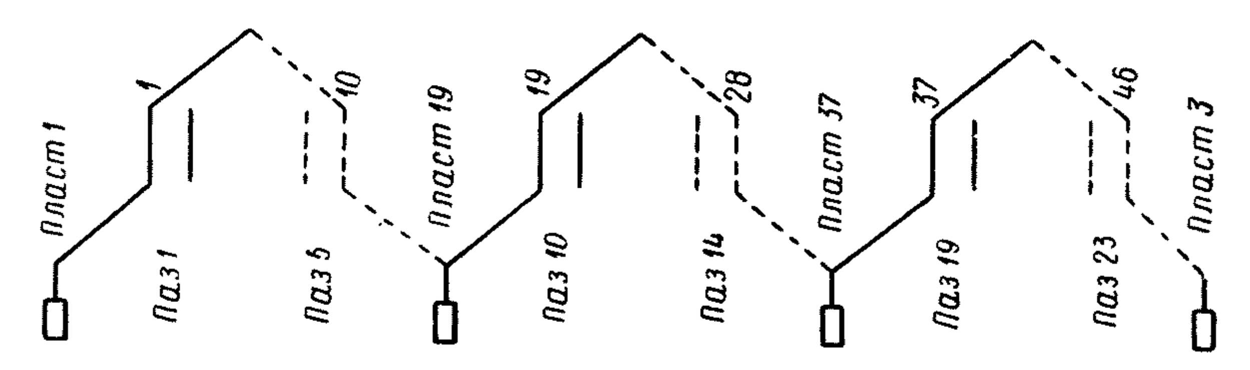


Рис. 1–31. Один обход сложно–волновой обмотки.

1–8. Волновые обмотки с мертвыми секциями.

Из формулы (1–15) видно, что, для того чтобы при четырехполюсной машине (p = 2) шаг получился целым числом при нечетном числе пазов Z, число коллекторных пластин на паз должно быть также числом нечетным (т. е. $u_П$ может равняться 1, 3, 5); только при этом условии числитель формулы разделится на 2. При четном же числе пазов для шага обмотки мы получим дробное число, т. е. она не выполнима.

Пример. Число пазов Z = 20. Число секционных сторон в пазу $s_П$ = 2. Число полюсов $2p$ = 4. Число коллекторных пластин обмотки:

$$K = \frac{Z \times s_П}{2} = \frac{20 \times 2}{2} = 20$$

Шаг по коллектору и результирующий шаг обмотки:

$$y_K = y = \frac{K \pm 1}{p} = \frac{20 \pm 1}{2}$$

не равны целому числу, т. е. обмотка невыполнима. Практически при выполнении небольших четырехполюсных машин с целью унификации приходится применять простые волновые обмотки с $Z{\times}u_П$ равным четному числу. В этих случаях для осуществления обмотки поступают следующим образом: одну секцию обмотки оставляют свободной (не присоединяют ее к коллектору), число же коллекторных пластин уменьшают на одну пластину секцию, не присоединенную к коллектору, называют *мертвой*. В приведенном выше примере при двадцати пазах на якоре и двух проводниках в пазу следует взять коллектор с девятнадцатью пластинами. Число секций обмотки, присоединенных к коллектору, будет равно девятнадцати, а одна секция не присоединяется к коллектору. Шаги обмотки при этом будут следующие:

$$y = y_K = \frac{K-1}{p} = \frac{19-1}{2} = 9; \;\; y_1 = 4; \;\; y_2 = y - y_1 = 9 - 4 = 5$$

При выполнении такой обмотки предварительно заготовляют 20 секций и укладывают их в пазы якоря, причем расстояние между сторонами секций должно равняться четырем пазовым делениям.

Затем у одной из секций обрезают концы, которые должны были бы присоединиться к коллектору, остальные 19 секций соединяют между собой последовательно в соответствии с шагом по коллектору. На рис. 1–32 приведена схема обмотки. Мертвая секция выделена жирными линиями. Обмотки с мертвыми секциями нежелательны, так как они ухудшают коммутацию машины, но иногда их приходится применять для машин небольшой мощности. В табл. 1–3 указано число пазов Z и коллекторных пластин на паз $u_{П}$, при которых выполнимы простые и сложно–волновые обмотки для машин с разными числами полюсов $2p$.

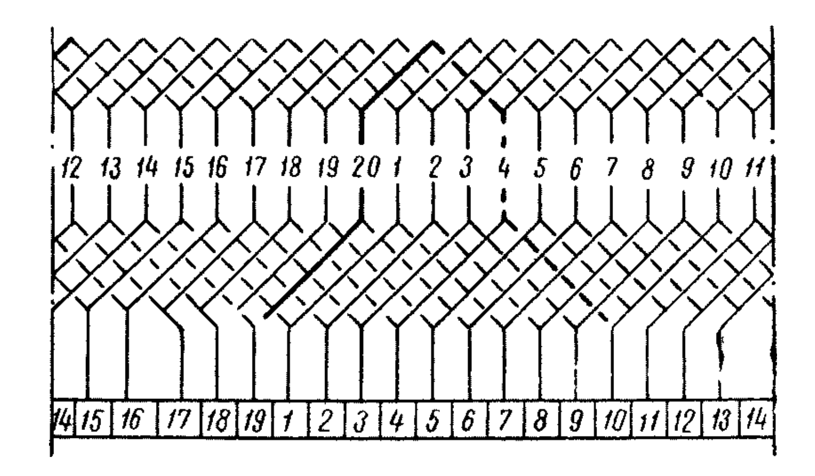


Рис. 1–32. Волновая обмотка с мертвой секцией.

Для определения числа пазов из табл. 1–3 надо вместо x подставить любое целое число. Указанные в скобках значения $u_{П}$ соответствуют двукратно–замкнутым обмоткам.

Таблица 1–3. Значения Z и $u_{п}$, при которых выполнимы симметричные волновые обмотки.

Число пар полюсов p	a	$u_{П}$	Z
2	1	1; 3; 5	$2x\pm1$
3	1	1; 2; 4; 5	$3x\pm1$
	2	(1; 2; 4; 5)	$6x\pm2$
4	1	1; 3; 5	$4x\pm1$
	2	1; 3; 5	$4x\pm2$
5	1	1; 4	$5x\pm1$
	1	2; 3	$5x\pm2$
	2	(1; 4)	$10x\pm2$
	2	(2; 3)	$10x\pm4$
6	1	1; 5	$6x\pm1$
	2	1; 2; 4; 5	$6x\pm2$
	3	1; 3; 5	$6x\pm3$
7	1	1	$7x\pm1$
	1	3; 4	$7x\pm2$
	1	2; 5	$7x\pm3$
	2	(1)	$14x\pm2$
	2	(3; 4)	$14x\pm4$
	2	(2; 5)	$14x\pm6$
8	1	1	$8x\pm1$
	1	3; 5	$8x\pm2$
	2	1; 3; 5	$8x\pm3$
	4	1; 3; 5	$8x\pm4$

1–9. Искусственно–замкнутая волновая обмотка.

В тех случаях, когда имеется готовый якорь с коллектором, число пластин которого не позволяет осуществить волновую обмотку, а по расчету она необходима, применяют искусственно–замкнутую простую волновую обмотку. Сущность ее можно представить себе из следующего примера. Допустим, что имеется якорь с данными: $2p = 4$, $Z = 9$, $s_{п} = 2$ и $K = 9$. Шаги обмотки этого якоря будут:

$$y_K = y = \frac{K \pm 1}{p} = \frac{9-1}{4};\ \ y_1 = 2;\ \ y_2 = 2$$

На рис. 1–33 изображена обмотка этого якоря. Далее допустим, что у нас имеется другой якорь с числом пазов $Z = 8$, а не 9, и соответственно с числом коллекторных пластин $K = 8$. Обмотку такого якоря мы можем получить из предыдущей, если одну коллекторную пластину 9 и одну секцию, лежащую вверху девятого паза и внизу второго паза, не нарушая схемы, заменим проводником а (как это показано на рисунке) и затем мысленно сдвинем проводники, лежащие в нижнем слое девятого и первого пазов, на один паз вправо таким образом, чтобы проводник, лежащий внизу девятого паза, попал вниз первого паза. Этим сдвигом мы освободим девятый паз. Полученная таким способом обмотка (рис. 1–34) и будет искусственно–волновой замкнутой.

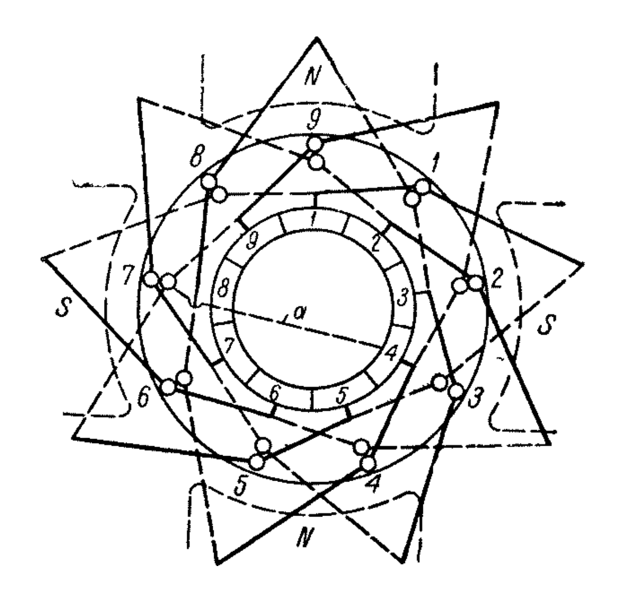


Рис. 1–33. Переход от простой волновой обмотки к искусственно–замкнутой обмотке.

Рис. 1–34. Искусственно–замкнутая волновая обмотка.

Из предыдущего следует, что при выполнении этой обмотки необходимо поступать следующим образом: мысленно представить себе, что коллектор имеет на одну пластину больше действительного числа коллекторных пластин и соответственно якорь имеет на одну секцию больше действительного числа секций, определить, исходя из этого предположения, шаги, а затем лишние коллекторную пластину и секцию заменить одним проводником.

Пример. Вычислить шаги для искусственно–замкнутой волновой обмотки: $Z = 20$; $s_\Pi = 2$; $2p = 4$

$$K = \frac{Z \times s_\Pi}{2} = \frac{20 \times 2}{2} = 20$$

Вычисляем шаги обмотки для числа коллекторных пластин $K + 1 = 20 + 1 = 21$, как это было указано ранее:

$$y = y_K = \frac{(K+1)-1}{p} = \frac{(20+1)-1}{2} = 10; \quad y_1 = 5;\ y_2 = 5$$

Согласно полученным шагам, секционные стороны и коллекторные пластины нужно соединять в следующей последовательности: 1 пластина – 1в – 6н – 11, пластина – 11в – 16н – 21, пластина – 21в – 5н – 10, пластина – 10в–15н – и. т. д.

Так как фактически коллекторная пластина 21 и секция 21, состоящая из проводников 21в и 5н, отсутствуют, то мы заменяем их проводником, соединяя им нижний проводник 16 с коллекторной пластиной 10. Это изображено на рис. 1–35. Дальнейшие соединения производим по схеме: от коллекторной пластины 10 идем к началу секции 10, которую соединяем с секцией 20, и. т. д.

При выполнении этой обмотки необходимо отметить одно чрезвычайно важное обстоятельство: вследствие того, что коллекторная пластина 21 фактически не существует, шаги по коллектору для этой обмотки будут неодинаковые. Из рисунка видно, что при выполнении обмотки один шаг по коллектору равен 10; например, коллекторная пластина 10 соединяется с коллекторной пластиной 20, второй шаг равен 9 – пластина 20 соединяется с коллекторной пластиной 9. При каждом обходе вокруг якоря шаги $y_к = 10$ и $y_K = 9$ чередуются.

Если бы машина была шестиполюсной, то чередование шагов было бы следующее: из трех шагов обмотки, соответствующих одному обходу вокруг якоря, два шага определялись бы по формуле:

$$y_K = \frac{(K+1)-1}{p} = \frac{K}{p} \quad (1-21)$$

а один шаг был бы на единицу меньше и равнялся бы:

$$\frac{K}{p} - 1$$

Практически при выполнении искусственно–замкнутой обмотки удобнее придерживаться такой нумерации пластин, при которой коллекторную пластину (в нашем примере 10) с присоединенным к ней проводником, замыкающим обмотку, считают за первую. Это изменение счета коллекторных пластин позволяет осуществлять обмотку следующим образом: в первую пластину впаивается проводник, а затем, начиная от нее, обмотка выполняется шагами по коллектору:

$$y_K = \frac{K}{p} \text{ и } y'_K = \frac{K}{p} - 1$$

причем чередование этих шагов зависит от числа полюсов машины. При числе полюсов машины $2p$ в каждом обходе, которому соответствует p шагов, p – 1 шагов будут равны y_K, а один шаг равен y'_K. Оставшийся свободным конец обмотки соединяется с проводником, впаянным в коллекторную пластину 1.

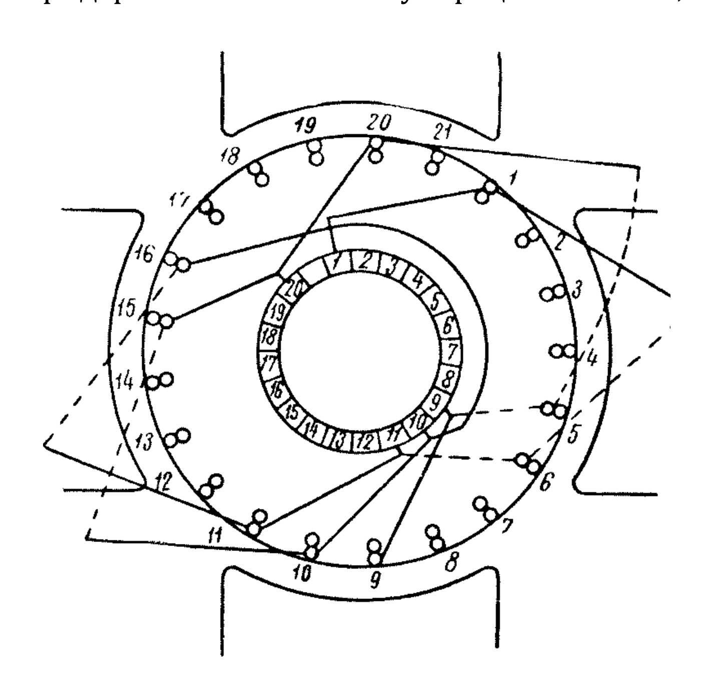


Рис. 1–35. Искусственно–замкнутая волновая обмотка четырехполюсной машины с четным числом пазов.

1–10. Условия симметрии обмоток.

При описании обмоток кольцевого якоря было отмечено, что основное требование, которому должна удовлетворять обмотка состоит в том, чтобы э. д. с. параллельных ветвей ее при любом положении якоря были равны. Нарушение этого условия приводит к появлению в обмотке якоря тока и при работе машины вхолостую.

Этот ток, вызванный разностью э. д. с. параллельных ветвей обмотки якоря, называют *уравнительным током*. Этот ток увеличивает плотность тока под щетками и в отдельных случаях исключает возможность нормальной эксплуатации машины из–за сильного перегрева обмотки якоря и искрения на коллекторе. Чтобы устранить возможность появления уравнительного тока и добиться равенства э. д. с. параллельных ветвей обмотки якоря, необходимо соблюдать определенные условия при выборе числа пазов Z и числа коллекторных пластин K обмотки якоря. Эти условия называют условиями симметрии обмотки якоря, состоят они в следующем:

1. Число проводников во всех пазах должно быть одинаковым, т. е. должно равняться целому числу.
2. Каждая пара параллельных ветвей должна содержать одинаковое число пазов, т. е.

$$s_\Pi = \frac{N}{Z} \quad (1-23)$$

должно равняться целому числу.

3. Каждая пара параллельных ветвей должна содержать одинаковое число секций, т. е.

$$\frac{K}{a} \quad (1-24)$$

должно равняться целому числу.

4. Каждой стороне секции, принадлежащей одной паре параллельных ветвей, должны соответствовать секционные стороны других пар параллельных ветвей, расположенных в одинаковых с первыми секционными сторонами магнитных условиях. Для этого необходимо, чтобы:

$$\frac{2p}{a} \quad (1-25)$$

равнялось целому числу.

Рассмотрим различные типы обмоток с точки зрения этих условий и определим, в какой мере они ограничивают выбор числа пазов и коллекторных пластин. Для простой петлевой обмотки $a = p$, поэтому четвертое условие симметрии всегда соблюдается; Z и K должны быть избраны таким образом, чтобы удовлетворить остальным условиям симметрии. В сложно–петлевых обмотках четвертое условие симметрии может быть выполнено только в одном случае, когда $a = 2p$. Если, $a > 2p$, то $2p/a$ не может быть целым числом. Таким образом, сложно–петлевая обмотка может быть симметричной, если число составляющих ее простых петлевых обмоток m не больше двух. Такая обмотка будет двукратно–замкнутой. Первые три условия для этой обмотки также должны соблюдаться. Второе и третье условия симметрии могут быть выполнены только в том случае, если коллектор имеет четное число пластин, а якорь – четное число пазов. Действительно, при $a = 2p$ второе и третье условия симметрии ($Z/a = Z/2p$; $K/a = K/2p$ должны равняться целым числам) выполнимы только при K и Z равных четным числам. Таким образом, только для двукратно–замкнутой сложно–петлевой обмотки могут быть выполнены условия симметрии, однако опыт показал, что однократно–замкнутые сложно–петлевые обмотки с $m = 2$, несмотря на некоторую их не симметрию, работают вполне удовлетворительно, если якорь имеет большое число пазов ($Z/2p$) должно быть больше 15, для небольших машин иногда можно допустить 13,5) и число коллекторных пластин на паз равно 1 или 3. Однократно–замкнутые сложно–петлевые обмотки должны быть рассчитаны так, чтобы Z/p и K/p были целыми числами. Число K должно быть нечетным, что возможно, когда p, Z и $u_{\text{П}}$ – нечетные числа, т. е. эти обмотки выполнимы для машин, у которых число пар полюсов (p) – нечетное. У простой волновой обмотки $a = 1$, поэтому последние три условия симметрии выполняются при любых числах пазов и коллекторных пластин.

Первое условие симметрии для этой обмотки должно выполняться, однако для машин небольшой мощности допустимо отступление в тех случаях, когда число пазов не дает возможности выполнить обмотку (см. §1–8). В таких случаях приходится применять волновые обмотки с мертвыми секциями; эти обмотки не являются симметричными. Для сложно–волновой обмотки должны соблюдаться все четыре условия симметрии.

1–11. Уравнительные соединения.

а. Уравнительные соединения в кольцевых обмотках.

Как было показано выше, в кольцевых обмотках все проводники, принадлежащие одной параллельной ветви, лежат под одним полюсом. Если магнитные потоки отдельных полюсов машины не будут равны между собой, то и э. д. с. отдельных параллельных ветвей обмотки не будут равны.

Неравенство магнитных потоков может быть вызвано следующими причинами:

1) плохой сборкой машины (неодинаковые воздушные зазоры между разными полюсами и якорем).

2) неоднородностью материала магнитной цепи, например наличие раковин в отливке станины, плохая сборка полюсов и т. д.

Даже в случае хорошей сборки машины и однородности материала магнитной цепи при длительной работе подшипники могут сработаться, и воздушные зазоры под полюсами окажутся неравными. Это приводит к тому, что магнитные сопротивления отдельных полюсов не будут равны между собой, а следовательно, и потоки отдельных полюсов не будут равны. Под тем полюсом, где воздушный зазор больше, магнитный поток будет меньше. Рассмотрим, к каким последствиям ведут неодинаковые э. д. с. в отдельных параллельных ветвях обмотки. На рис. 1–36 изображен кольцевой якорь четырехполюсной машины. Предположим, что под нижним северным полюсом воздушный зазор меньше, чем под верхним; тогда магнитный поток верхнего северного полюса будет меньше магнитного потока нижнего. Под обоими южными полюсами магнитные потоки будут одинаковы, и каждый из них будет меньше потока нижнего северного полюса. Э. д. с. в отдельных параллельных ветвях не равны друг другу, причем $E_1 > E_2$, $E_3 > E_4$ и $E_2 = E_3$. Рассмотрим контур, состоящий из части обмотки, заключенной между двумя положительными щетками *A* и *B*, и шины, соединяющей эти щетки (рис. 1–37), Под влиянием разности э. д. с. $E_2 - E_3$ в этом контуре возникает уравнительный ток, направление которого показано стрелками. Этот ток замыкается через часть обмотки якоря, щетки, шину или провод, соединяющие одноименные щетки. Так как сопротивление пути очень незначительно, то небольшая разность э. д. с. отдельных параллельных ветвей может вызвать большой ток. Уравнительный ток будет существовать в обмотке при холостом ходе и при нагрузке, вызывая потери в обмотке якоря; появлением этих токов очень часто объясняется нагрев якоря машины при холостом ходе. Кроме того, при нагрузке под одной щеткой (щетка *B* на рис. 1–37) ток, идущий во внешнюю цепь, и уравнительный ток складываются, благодаря чему увеличивается плотность тока под щеткой. Все это настолько неблагоприятно влияет на работу машины, что длительная эксплуатация ее делается невозможной, обмотка якоря машины перегревается, на коллекторе появляется сильное искрение. Из рис. 1–36 видно, что такие же неприятные явления будут вызываться разностью э. д. с. $E_2 - E_4$. Чтобы избежать их, необходимо уравнительные токи направить не через щетки.

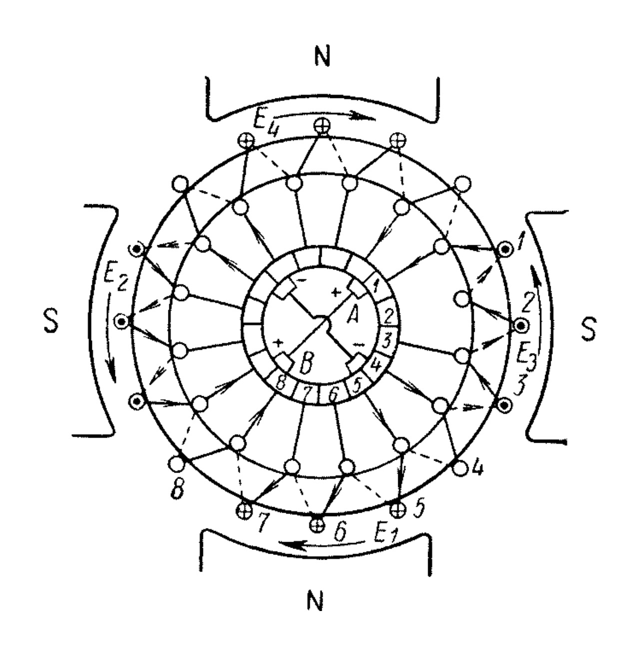


Рис. 1–36. Ассиметричное расположение якоря в четырехполюсной магнитной системе.

Это достигается соединением проводником коллекторных пластин, находящихся под одноименными щетками, т. е. соединяют между собой точки обмотки якоря, между которыми в идеальном случае нет разности потенциалов. Тогда ток, вызываемый разностью $E_1 - E_3$> а также и $E_2 - E_4$, пойдет, помимо щеток, по проводнику *a* (рис. 1–37), ибо этот путь будет представлять для него значительно меньшее сопротивление.

Если соединить проводником только две коллекторные пластины, то щетки не будут полностью разгружены от уравнительных токов в обмотке якоря.

Действительно, в следующий момент под щетки попадут другие проводники обмотки якоря, и токи по–прежнему будут замыкаться через щетки; поэтому обычно связывают уравнительными соединениями ряд коллекторных пластин.

В больших машинах все коллекторные пластины связываются уравнительными соединениями. Эти соединения разгружают щетки от уравнительных токов; помимо того, при более подробном рассмотрении можно убедиться, что токи, протекающие по обмотке якоря и уравнительным соединениям, по закону Ленца, стремятся создать такое магнитное поле, которое выравнивает потоки отдельных полюсов, т. е. своим действием уравнительные токи стремятся уничтожить причину, их создавшую. Расстояние между коллекторными пластинами, соединяемыми уравнительными соединениями, равно расстоянию между одноименными щетками, и если это расстояние выразить через число коллекторных пластин, то оно равно K / p. Каждое уравнительное соединение должно соединять столько коллекторных пластин, сколько одноименных щеток имеет обмотка, т. е. p пластин.

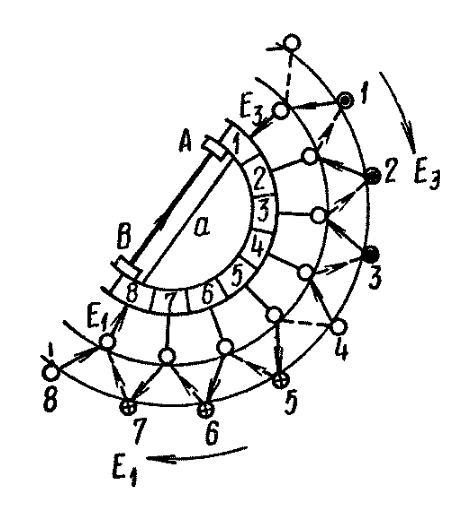


Рис. 1–37. Путь уравнительного тока.

б. Уравнительные соединения в простой петлевой обмотке (уравнительные соединения первого рода).

На рис. 1–38 изображен переход от кольцевой обмотки к петлевой барабанной. Проводник a смещается на полюсное деление, а затем выносится на наружную поверхность якоря. Очевидно, что и по своим свойствам петлевая обмотка не должна отличаться от кольцевой. Действительно, числа параллельных ветвей кольцевой и петлевой обмоток равны; каждая параллельная ветвь петлевой обмотки располагается под парой соседних полюсов и, следовательно, неравенство потоков отдельных полюсов будет также вызывать неравенство э. д. с. отдельных параллельных ветвей, а следовательно, и уравнительные токи; как и в кольцевой обмотке, для разгрузки щеток от уравнительных токов в петлевой обмотке применяют уравнительные соединения. Шаг уравнительных соединений для обеих обмоток должен равняться:

$$yp = \frac{K}{p} \quad (1-26)$$

и так как для петлевой обмотки $p = a$, то шаг уравнительных соединений будет:

$$yp = \frac{K}{a} \quad (1-27)$$

Уравнительные соединения тем лучше будут выполнять свое назначение, чем их больше, и поэтому желательно, чтобы все коллекторные пластины соединялись уравнителями, причем каждый из них должен соединять число коллекторных пластин, равное числу пар полюсов машины. Однако это удорожает машину, поэтому практически только для крупных машин мощностью выше 1000 кВт и быстроходных (3000 об. мин.) берут полное число уравнительных соединений. Обычно же для машин мощностью до 500 кВт при скорости вращения до 1000 об. мин. уравнителями соединяют коллекторные пластины через одну или через две пластины.
Небольшие четырехполюсные машины снабжаются чаще всего тремя уравнительными соединениями. Поперечное сечение уравнительных соединений берут равным от ⅕ до ⅓ поперечного сечения проводника обмотки якоря.

Пример. Определить шаг и число уравнительных соединений обмотки якоря, имеющий следующее данные: $2p = 6$, $K = 162$ и $2a = 6$ ($a = 3$).
Шаг уравнительных соединений:

$$y_p = \frac{K}{p} = \frac{162}{3} = 54$$

Число коллекторных пластин, соединяемых одним уравнителем, равно числу пар полюсов, т. е. трем. Если уравнительными соединениями снабдить каждую третью коллекторную пластину, то таких пластин, окажется $K/3 = 162/3 = 54$, и так как каждый уравнитель соединяет три пластины, то число их будет: $54/3 = 18$. Таблица, указывающая, какие коллекторные пластины соединяются уравнительными соединениями, составляется в следующем виде:

I уравнитель	…….	1–55–109–1
II уравнитель	…….	4–58–112–4
III уравнитель	…….	7–61–115–7

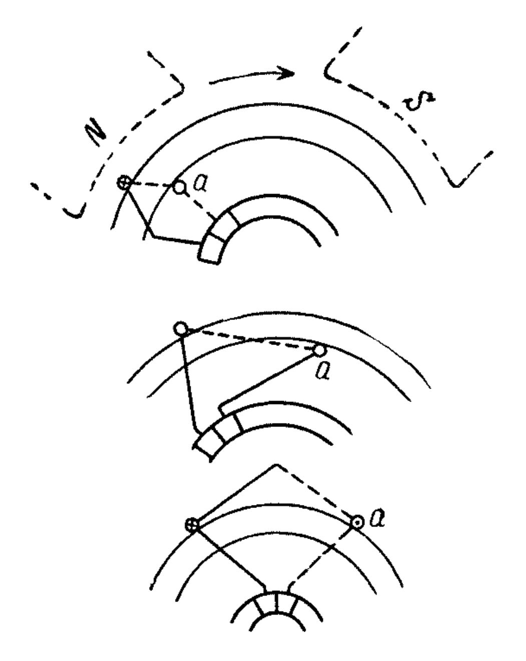


Рис. 1–38. Переход от кольцевой к петлевой обмотке.

и т. д. Укладка уравнительных соединений производится либо под лобовыми частями обмотки со стороны, противоположной коллектору, как это показано на рис. 1–39, *а* и *б*, либо со стороны коллектора (рис. 1–40).

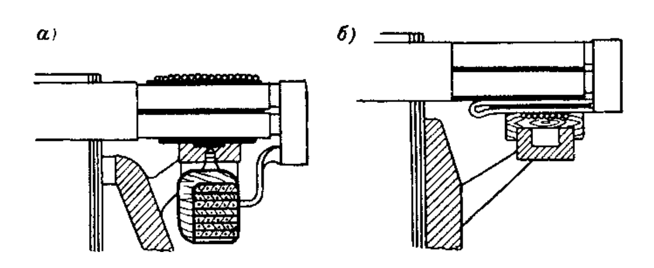
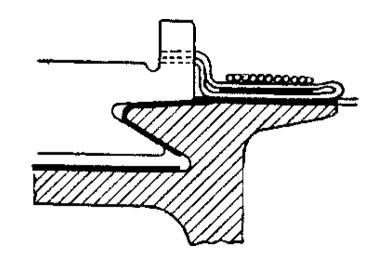


Рис. 1–39. Уравнительные соединения, расположенные


Рис. 1–40. Уравнительные соединения расположенные со стороны коллектора.

В больших машинах уравнители часто устраиваются таким образом, что они выполняют роль петушков. На рис. 1–41 показана часть схемы с такими уравнителями. Они, как видно из рисунка, соединяют равнопотенциальные точки обмотки якоря, т. е. секции, занимающие одинаковое положение в магнитном поле. Эта обмотка от обычной отличается лишь тем, что присоединение ее к коллектору осуществляется от уравнительных соединений, поэтому она может быть выполнена только с полным числом уравнителей. При таком исполнении они практически располагаются с торца обмотки якоря, так же как петушки, с той разницей, что они образуют два слоя (наружный слой – сплошные линии, внутренний – пунктирные).
Следует отметить, что в такой обмотке, по сравнению с ранее рассмотренными петлевыми обмотками, коллектор повернут на полюсной шаг, поэтому при вращении якоря по часовой стрелке положительная щетка будет располагаться не по оси южного полюса, а по оси северного.
Из предыдущего следует, что уравнительные соединения в петлевой обмотке служат для выравнивания магнитных потоков отдельных полюсов машины и разгрузки щеток от уравнительных токов и их обычно называют уравнительными соединениями первого рода.

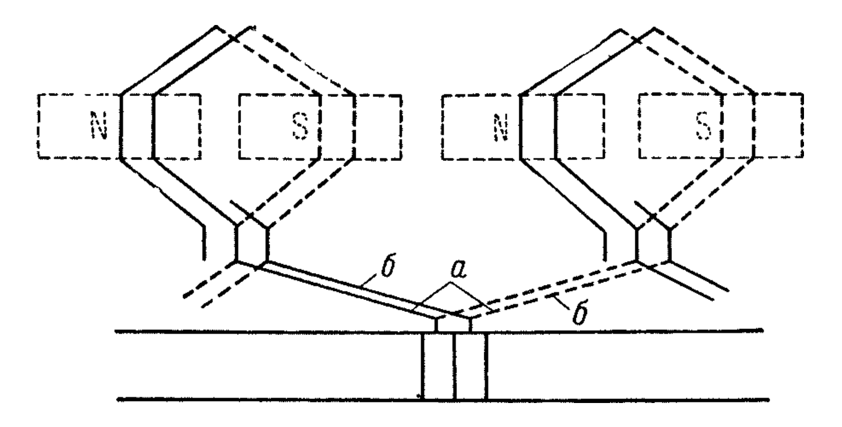


Рис. 1–41. Уравнительные соединения в петушках.

в. Уравнительные соединения в волновых обмотках (уравнительные соединения второго рода).

Проводники каждой параллельной ветви волновой обмотки располагаются под всеми полюсами, поэтому неравенство магнитных потоков отдельных полюсов машины в одинаковой степени скажется на всех параллельных ветвях, и э. д. с. в них будут равными. Из указанного следует, что простые волновые обмотки не нуждаются в уравнительных соединениях. Кроме того, в простой волновой обмотке отсутствуют точки одинакового потенциала. Сложно–волновые обмотки могут хорошо работать только при выполнении их с уравнительными соединениями. В такой обмотке соседние коллекторные пластины принадлежат разным простым волновым обмоткам, составляющим ее. Если переходные сопротивления между щетками и коллекторными пластинами, принадлежащими разным обмоткам, будут не равны, то и токи в отдельных волновых обмотках также не будут равны. Неравномерное распределение тока между отдельными простыми волновыми обмотками повлечет за собой и неравные падения напряжения в обмотках, вследствие чего напряжения между соседними коллекторными пластинами могут сильно увеличиваться. Чтобы избежать этого повышения и для выравнивания его, необходимо все простые волновые обмотки, входящие в состав сложно–волновой, связать между собой электрически уравнительными соединениями. Их называют уравнительными соединениями второго рода. На рис. 1–42 показана часть схемы сложно–волновой обмотки восьмиполюсной машины в развернутом виде. Ее данные: число пазов $Z = 82$; $u_п = 3$; $K = Z\ u_п = 82 \times 3 = 246$; $a = 2$. Шаги обмотки, определенные по формуле 1–19 и 1–20, равны $y = 61$; $y_К = 31$ и $y_2 = 30$. Состоит она из двух простых волновых обмоток. Из рис. 1–42 видно, что между коллекторными пластинами 1 и 245 включены 4 секции, поэтому напряжение между ними равно э. д. с. 4 секций. Для того чтобы коллекторная пластина 246 делила напряжение между пластинами 1 и 245 пополам, ее необходимо соединить с коллекторной пластиной 123; тогда напряжения между пластинами 1 и 246, а также 245 и 246 будут равны э. д. с. двух секций.

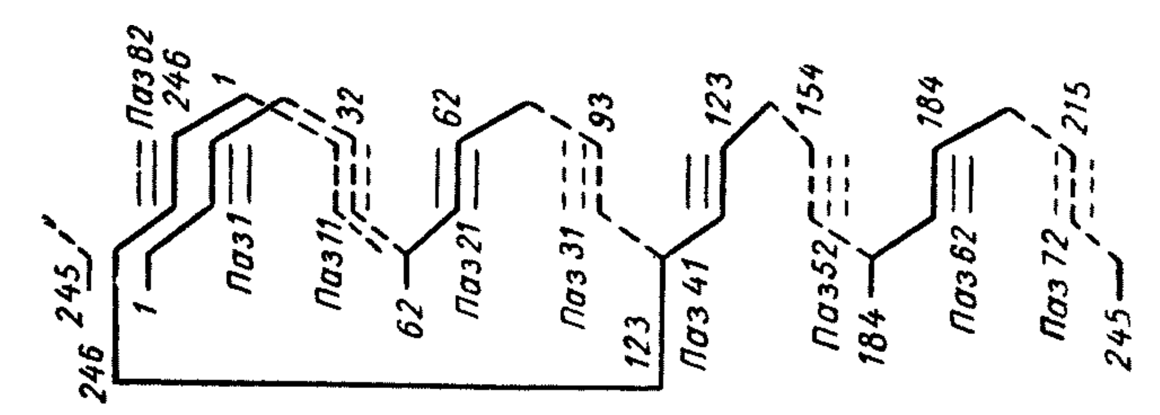


Рис. 1–42. Уравнительные соединения в сложно–волновой обмотке восьмиполюсной машины.

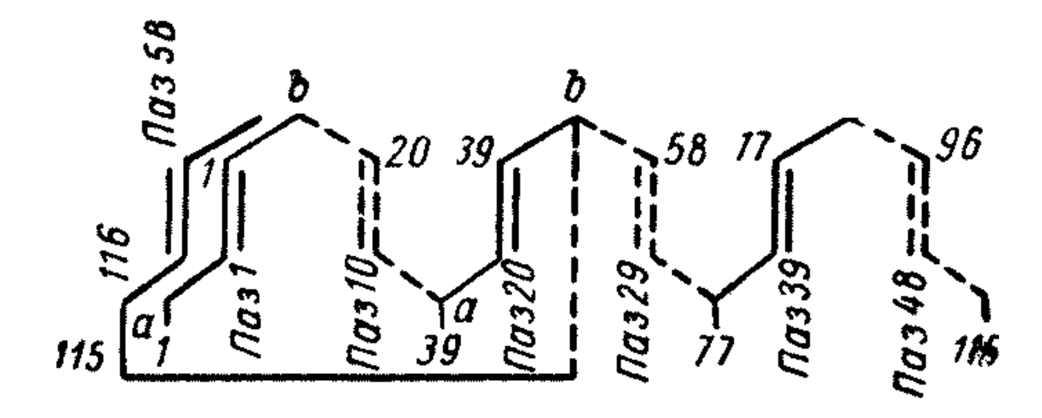


Рис. 1–43. Уравнительные соединения в сложно–волновой обмотке шестиполюсной машины.

На рис. 1–43 приведена часть схемы сложно–волновой обмотки шестиполюсной машины, у которой $Z = 58$; $u_п = 2$; $a = 2$; $K = Z \times u_П = 58 \times 2 = 116$; $y = y_К = 38$; $y_1 = y_2 = y/2 = 19$. Для этой обмотки равенства напряжений между пластинами 1 и 116 и между пластинами 115 и 116 можно достигнуть, если пластину 116 и точку обмотки якоря C (проводник 39 со стороны противоположной коллектору) соединить уравнителем. Чтобы в этом уравнителе не индуктировалась э. д. с, его располагают между валом и сердечником якоря. При таком соединении напряжение между пластинами 1 и 116 будет равно э. д. с. трех проводников (1в, 20н, 39в), а между пластинами 116 и 115 – э. д. с. трех проводников (58н, 77в, 96н). Шаг уравнительных соединений для сложно–волновой обмотки:

$$y_{ур} = \frac{K}{a} \quad (1-28)$$

если $2p/a$ равно четному числу (см. рис. 1–42); если же $2p/a$ равно нечетному числу, тогда уравнителями приходится соединять точки обмотки, расположенные с обеих сторон якоря (см. рис. 1–43). В этом случае шаг уравнителей лучше всего определить, если вычертить один обход обмотки якоря и затем найти, с какими точками обмотки якоря необходимо соединить коллекторные пластины, лежащие между пластинами, составляющими начало и конец обхода, чтобы напряжение между ними делилось на равные части. Следует помнить, что обмотка при $2p/a$, равная нечетному числу, должна быть ступенчатой и $y_1 = y_K/2$, только в этом случае уравнитель будет соединять точки обмотки якоря с одинаковыми потенциалами.

Число уравнительных соединений в сложно–волновой обмотке обычно берется около двух на каждый полюс, они должны быть равномерно распределены по схеме обмотки. В качестве примера определим шаг и распределение уравнительных соединений для обмотки якоря, имеющей следующие данные: $2p = 8$, $Z = 78$ и $u_П = 3$, $K = Z \times u_П = 78 \times 3 = 234$, $a = 2$. Для этой обмотки результирующий шаг y и шаг по коллектору $y_к$ равны:

$$y = y_K = \frac{K \pm a}{p} = \frac{234-2}{4} = 58$$

так как $y_K = 58$ и $a = 2$ имеют общий делитель 2, то обмотка будет двукратно–замкнутой. Одна из обмоток будет присоединена к нечетным пластинам коллектора, другая – к четным. Шаг уравнительных соединений $yур = K/a = 234/2 = 117$. Предположим, что в этой обмотке желательно иметь девять уравнительных соединений. Для равномерного распределения их по обмотке якоря исходим из следующего: каждая из двух обмоток, входящих в данную сложную, имеет по 117 секций, следовательно, уравнители должны присоединяться через каждые $117/9 = 13$ последовательно соединенных секции.

Но для того чтобы соединить последовательно 13 секций, необходимо сделать 13 шагов, при этом мы сместимся от первой пластины на 13 y_K = 13 × 58 = 754 пластины, т. е. три раза обойдем вокруг коллектора и сместимся относительно исходной (первой) на 52 пластины (754/234 = 3 и остаток, равный 52).

Таблица 1–4

Номер уравнителя	Номера соединительных коллекторных пластин
I	1–118
II	53–170
III	105–222
IV	157–(274–234=40)
V	209–92
VI	(261–234=27)–144
VII	79–196
VIII	131–(248–234=14)
IX	183–66

Таким образом, уравнители должны отстоять друг от друга на 52 пластины. На основании этого можно составить таблицу уравнительных соединений (табл. 1–4). При составлении этой таблицы к уравнителю 1, присоединенному к пластинам 1 и 118, прибавляется по 52; при этом мы получаем номера коллекторных пластин, к которым должны быть присоединены последующие уравнители. Если очередной номер пластины больше 234, то очевидно, что для получения номера коллекторной пластины из этого числа следует отнять 234.

г. Уравнительные соединения в сложно–петлевых обмотках (уравнительные соединения третьего рода).

Практически применяемые сложно–петлевые обмотки состоят из двух простых петлевых обмоток (m = 2), поэтому мы рассмотрим уравнительные соединения только для этого случая. Как было указано ранее, эти обмотки могут быть двукратно–замкнутые (при четном числе коллекторных пластин) или однократно–замкнутые (при нечетном числе коллекторных пластин). Уравнительные соединения в обоих указанных случаях выполняются по–разному. В случае двукратно–замкнутой обмотки сложно–петлевая обмотка распадается на две простые петлевые обмотки, которые между собой не соединены. Каждая из них, для устранения возможности появления уравнительных токов, вследствие неравенства магнитных потоков полюсов должна быть снабжена уравнительными соединениями первого рода, шаг которых будет четным числом, равным (K/p). (Прим.: В обмотке, для которой выполнены условия симметрии, т. е. K/a = $K/2p$ – целое число, K/p равно четному числу)

Этими уравнительными соединениями обе простые петлевые обмотки не будут соединяться, так как они соединяют либо только нечетные коллекторные пластины, либо только четные. Для того чтобы соединить обе петлевые обмотки, что необходимо для равномерного распределения тока между ними и для достижения равномерного распределения напряжения между соседними коллекторными пластинами, сложно–петлевая обмотка должна быть дополнительно снабжена уравнительными соединениями второго рода. В таких сложно–петлевых обмотках уравнители первого рода для одной из обмоток выполняются со стороны коллектора, а для другой – со стороны, противоположной коллектору. Уравнительные же соединения второго рода протягиваются с одной стороны якоря на другую; они укладываются между валом и сталью якоря, где нет магнитного поля, а поэтому в них не индуктируются э. д. с. На рис. 1–44 изображена часть схемы сложно–петлевой обмотки с уравнительными соединениями первого и второго рода.

Данные этой обмотки: $2p$ = 4, $2a$ = 8, число пазов Z = 20, K = 20 и число проводников в пазу $s_п$ = 2. На схеме проводники, принадлежащие двум простым петлевым обмоткам изображены тонкой и жирной линиями. Уравнительные соединения первого рода (на схеме линии A, B, C и D) расположены с обоих концов якоря.

Шаг этих уравнительных соединений:

$$yур = \frac{K}{p} = \frac{20}{2} = 10 \quad (1-29)$$

Уравнительные соединения второго рода соединяют обе простые петлевые обмотки (на рис. 1–44 линии *ab* и *cd*). Из схемы видно, что *ab* соединяет середину секции, присоединенной к коллекторным пластинам 2 и 4, с коллекторной пластиной 3, принадлежащей второй петлевой обмотке, благодаря чему напряжение между пластинами 2 и 4 делится коллекторной пластиной 3 пополам. Напряжения между пластинами 2 и 3 и пластинами 3 и 4 равны э. д. с. одного проводника. Помимо уравнительных соединений первого и второго рода в сложно–петлевых двукратно–замкнутых обмотках может применяться дополнительно еще один вид уравнительных соединений, предназначенный для создания одинаковых условий коммутации во всех секциях обмотки якоря. Называют их уравнительными соединениями третьего рода. Роль уравнительных соединений третьего рода можно выяснить из рис. 1–45, на котором выделена часть схемы обмотки якоря, показанной на рис. 1–44. Из рис. 1–45 видно, что благодаря уравнительным соединениям (*ab* и *cd*) проводники 4 и 8 в отдельности замыкаются накоротко щеткой. Проводник S, уравнитель *ab*, щетка и коллекторная пластина 4 образуют также замкнутый контур. Для того чтобы в процессе коммутации проводники 3 и 9 каждый в отдельности также замыкались щеткой накоротко, необходимо точку *E* (середину витка, состоящего из проводников 3 и 9) соединить с коллекторной пластиной 4. На рисунке это соединение показано пунктирной линией *EF*. При наличии такого уравнительного соединения проводник 3, соединение *EF*, коллекторные пластины 4 и 3 образуют замкнутый контур. Таким образом, уравнительные соединения третьего рода создают одинаковые условия коммутации для секций обеих петлевых обмоток. Эти уравнительные соединения должны быть также уложены между валом и сталью якоря и соединять все коллекторные пластины. В практике из–за сложности выполнения уравнительных соединений сложно–петлевая двукратно–замкнутая обмотка применяется очень редко. В однократно–замкнутой двухходовой петлевой обмотке шаг уравнительных соединений первого рода, равный K/p, как следует из условия симметрии обмотки, будет равен нечетному числу; поэтому эти уравнители будут соединять нечетные коллекторные пластины с четными, т. е. пластины, принадлежащие обеим простым петлевым обмоткам. Благодаря этому в обмотке отпадает необходимость в уравнительных соединениях второго рода, что значительно упрощает ее изготовление.

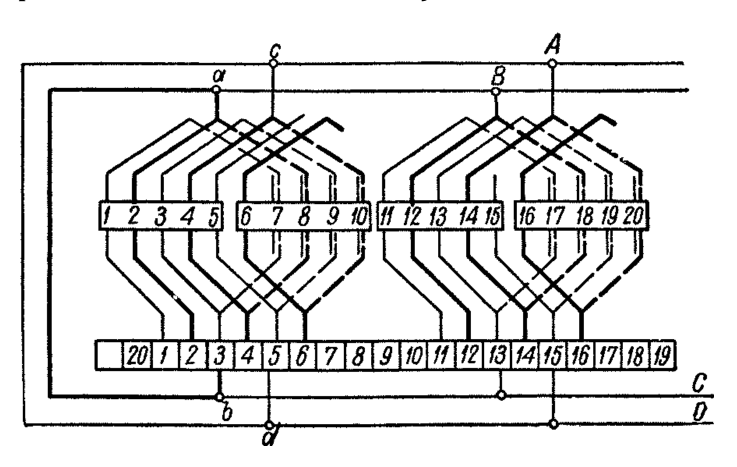


Рис. 1–44. Уравнительные соединения в сложно–петлевой обмотке.

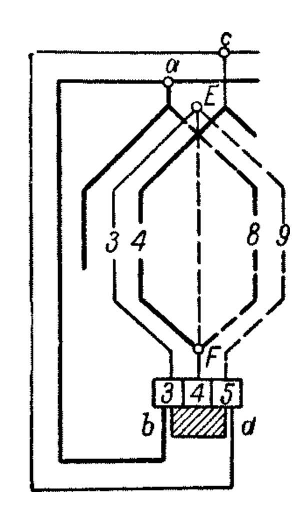


Рис. 1–45. Уравнительные соединения третьего рода в сложно–петлевой обмотке.

1–12. Лягушачья обмотка.

а. Принцип образования обмотки и число параллельных ветвей.

Лягушечья обмотка представляет собой две параллельно соединенные обмотки: петлевую (простую или сложную) и сложно–волновую. Параллельное соединение этих двух обмоток достигается присоединением их к одним и тем же коллекторным пластинам, т. е. к каждой коллекторной пластине присоединяются по четыре проводника: два от петлевой обмотки и два от волновой. Для того чтобы петлевую и волновую обмотки можно было соединить параллельно, необходимо, чтобы они удовлетворяли четырем условиям:

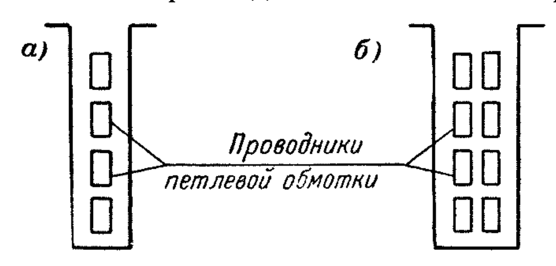


Рис. 1–46. Расположение проводников в пазах лягушечьей обмотки.

1. Обе обмотки должны иметь равные числа параллельных ветвей.
2. Для того чтобы э. д. с. обеих обмоток были равны, они должны иметь равное число проводников.
3. Каждая из обмоток должна удовлетворять условиям симметрии, указанным в §1–10 [формулы (1–22) – (1–25)], причем условия, выраженные формулами (1–23) и (1–24), могут быть заменены облегченными условиями, а именно: Z/p и K/p должны быть целыми числами.
4. В замкнутом контуре, образованном секциями петлевой и волновой обмоток и шинами, соединяющими одноименные щетки, э. д. с. должна быть равна нулю. Все перечисленные условия должны соблюдаться для того, чтобы в обмотке не было уравнительного тока, когда внешняя цепь разомкнута. Если обозначить число пар параллельных ветвей петлевой обмотки, положенной в основу лягушечьей, через $a_П$, тогда число параллельных ветвей лягушечьей обмотки будет: $2a = 2a_П + 2a_В = 4a_П$, где $a_В$ – число пар параллельных ветвей волновой обмотки. В якоре с лягушечьей обмоткой по высоте паза укладываются по четыре секционные стороны (практически по четыре проводника, так как секции этой обмотки обычно одновитковые). Две из них принадлежат петлевой обмотке, две – волновой. На рис. 1–46 показана укладка проводников в пазы при лягушечьей обмотке. При этом к каждой коллекторной пластине присоединяются по четыре проводника, поэтому на каждые четыре секционные стороны приходится по одной коллекторной пластине, а на каждый паз – по $u_п$ коллекторных пластин, где $u_п$ равно числу секционных сторон (проводников) в пазу $s_П$, деленному на 4, или, иначе, числу проводников по ширине паза. На рис. 1–46, *а* и *б* соответственно $u_П = 1$ и $u_П = 2$. На рис. 1–47 показаны различные конструктивные исполнения лягушечьих обмоток. Свое наименование эта обмотка получила потому, что катушки ее (рис. 1–47) по своей форме несколько напоминают очертание лягушки.

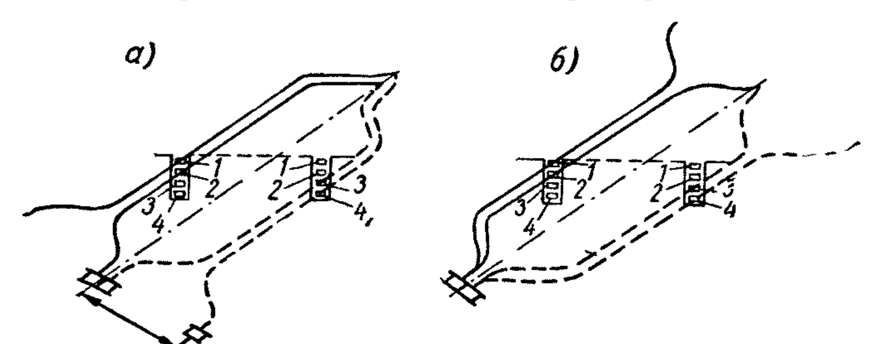


Рис. 1–47. Исполнения лягушечьих обмоток.

При расположении секции в пазах по рис. 1–47, а напряжение между слоями обмотки (1 и 2, 2 и 3, 3 и 4) равно напряжению машины, так как при этом секции петлевой и волновой обмоток присоединяются к коллекторным пластинам, отстоящим друг от друга на полюсный шаг, т. е. попадающим под щетки разной полярности.

При исполнении обмоток по рис. 1–47б, напряжение между слоями обмотки (1 и 2, 3 и 4) равно нулю, так как они присоединены к одним и тем же коллекторным пластинам. Благодаря этому в некоторых случаях проводники обеих обмоток могут быть объединены.

б. Шаги обмотки.

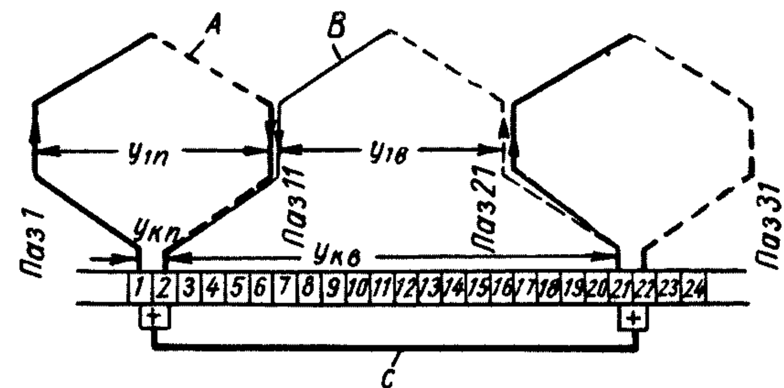


Рис. 1–48. Схема лягушачьей обмотки.

Схема лягушечьей обмотки проще всего определяется способом, предложенным В. Т. Касьяновым. Рассмотрим его на примере. Для машины с числом полюсов $2p$ = 4, числом пазов якоря Z = 40, числом проводников в пазу $s_П$ = 2 + 2 = 4 определим шаги и схему лягушечьей обмотки, в основу которой положена простая петлевая обмотка $2a = 2p = 4$. В этой обмотке $u_п$ = 1, и число коллекторных пластин $K = u_П \times Z = 1 \times 40 = 40$. Решение этой задачи проводим в следующем порядке.

1. Проверяем условия симметрии обмотки. Так как:

$$\frac{Z}{p} = \frac{40}{2} = 20 \text{ и } \frac{K}{p} = \frac{40}{2} = 20$$

являются целыми числами, то условия симметрии соблюдены.

2. По формулам (1–6) и (1–7) определяем шаги петлевой обмотки:

$$y = y_K = 1; \quad y_1 = \frac{K \pm b}{2p} = \frac{40}{4} = 10$$

3. Вычерчиваем две секции петлевой обмотки, сдвинутые относительно друг друга на расстояние двух полюсных шагов, т. е. находящиеся в одинаковых магнитных условиях. Они будут расположены на расстоянии K/p = 40/2 = 20 пазов. На рис. 1–48 указанные секции изображены жирными линиями. Далее соединяем их секцией волновой обмотки, располагая проводники ее в тех же пазах, в которых лежат проводники петлевой обмотки (пазы 11 и 21). На рисунке эта секция показана тонкими линиями. Затем из полученной схемы определяем шаги волновой обмотки: они получаются равными: шаг по коллектору y_K = 21 –2 = 19; первый шаг обмотки y_1 = 21–11 = 10.

4. Проверяем правильность полученных шагов обмотки.

а) Определяем, будет ли волновая обмотка при полученном шаге $y_к$ = 19 иметь столько же параллельных ветвей, сколько имеет петлевая обмотка. С этой целью определяем шаг волновой обмотки $a_В$ = 2; если он получится равным ранее полученному из схемы, то схема правильна. По формуле (1–19) получаем:

$$y_В = \frac{K \pm a_В}{p} = \frac{40-2}{2} = 19$$

т. е. схема правильна.

б) Определяем, отсутствует ли э. д. с. между пластинами 1 и 21. Эти пластины сдвинуты относительно друг друга на два полюсных шага, т. е. они одновременно попадают под одноименные щетки и при этом оказываются соединенными токособирательной шиной или проводом, показанным на рис. 1–48 линией C.

Если бы между пластинами 1 и 21 существовала э. д. с., тогда по замкнутому контуру, образованному секцией петлевой обмотки *A*, секцией волновой обмотки *B*, щетками и токособирательной шиной *C* проходил бы ток, который вредно влиял бы на работу машины, вызывая потери в обмотке якоря и увеличивая плотность тока под щетками. Рассматривая рис. 1–48, мы видим, что в данном случае сумма э. д. с. между пластинами 1 и 21 будет равна нулю, так как э. д. с. секций А и В равны и направлены в противоположные стороны. Э. д. с. Этих секций равны потому, что э. д. с. проводников, расположенных в пазу 11, равны, а э. д. с. проводников 1 и 21 также равны, так как эти проводники лежат в пазах, находящихся в одинаковых магнитных условиях: если проводник 1 лежит под краем северного полюса, то проводник 21 тоже лежит под краем следующего северного полюса, ибо на каждый полюс приходится по 10 пазов. Заметим, что если бы мы расположили секцию волновой обмотки в пазах 12 и 21, как показано на рис. 1–49, тогда схема была бы неправильной, ибо между пластинами 1 и 21 существовала бы э. д. с., так как э. д. с. проводников, лежащих в пазах 11 и 12, не были бы равны. Она вызвала бы уравнительный ток в обмотке якоря. Рассмотрев схему лягушечьей обмотки, мы можем сделать заключение, что она не требует уравнительных соединений. Коллекторные пластины 1 и 21, которые при петлевой обмотке должны были бы быть соединенными уравнительным соединением шаг уравнительных соединений ($yyp = K/p = 40/2 = 20$, см. формулу (1–26) , соединены между собой двумя секциями *A* и *B*, сумма э. д. с. которых равна нулю, т. е. они заменяют уравнитель. Благодаря тому, что волновая обмотка подключена ко всем коллекторным пластинам, лягушечья обмотка имеет полное число уравнительных соединений. Как мы уже ранее отметили, сумма э. д. с. секций, включенных между пластинами 1 и 21, только в том случае равна нулю, если эти секции имеют правильные шаги, как показано на рис 1–48, где $y_{1п}$ и $y_{1в}$ – частичные шаги соответственно петлевой и волновой обмоток. Из этого рисунка видно, что:

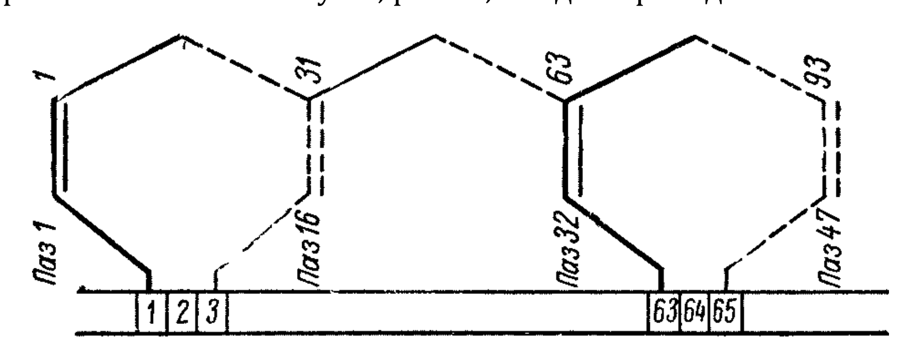


Рис. 1–50. Лягушечья обмотка, в основу которой положена сложно–петлевая двукратно–замкнутая обмотка

$$y_{1п} + y_{1в} = \frac{K}{p} \quad (1-30)$$

т. е. сумма первых шагов петлевой и волновой обмоток должна быть равна шагу уравнительных соединений K/p. Кроме того, шаги по коллектору петлевой и волновой обмоток должны быть связаны соотношением:

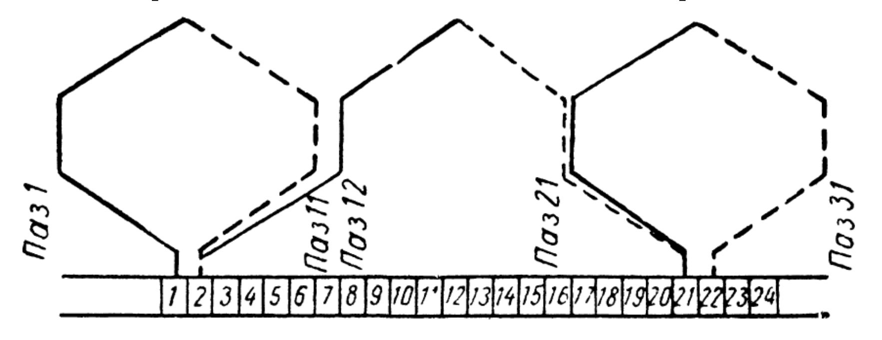


Рис. 1–49. Неправильная схема лягушечьей обмотки.

$$y_{кп} + y_{кв} = \frac{K}{p} = yyp \quad (1-31)$$

где $y_{кп}$ и $y_{кв}$ – шаги по коллектору петлевой и волновой обмоток.

Отсутствие уравнительных соединений в лягушечьей обмотке является одним из ее преимуществ по сравнению с петлевыми обмотками, в особенности двукратно–замкнутыми сложно–петлевыми, которые требуют сложной системы уравнительных соединений.

При определении шагов лягушечьей обмотки, в основу которой положена двукратно–замкнутая сложно–петлевая обмотка, необходимо следить за тем, чтобы секциями волновой обмотки соединялись обе части петлевой, т. е. чтобы сложно–волновая обмотка была однократно–замкнутой. Рассмотрим это на примере машины со следующими данными: $2p = 4$, $Z = 62$, $u_П = 2$, $K = u_П \times Z = 2 \times 62 = 124$. В основу лягушечьей обмотки положена сложно–петлевая с $a_п = 4$. Действуем аналогично предыдущему примеру.

1. Шаги петлевой обмотки:

$$y_K = 2; \quad y_1 = \frac{K \pm b}{2p} = \frac{124 - 4}{4} = 30$$

Здесь *в* принято равным четырем для получения равносекционной обмотки, т. е. чтобы $y_1/u_П$ было целым числом. Эта обмотка будет двукратно–замкнутой, т. е. она распадается на две обмотки, из которых одна присоединена к нечетным, а другая к четным коллекторным пластинам.

2. Вычерчиваем две секции петлевой обмотки, находящиеся на расстоянии двух полюсных делении, т. е. $p = K/p = 124/2 = 162$ пластины, и соединим их секцией волновой обмотки (рис 1–50). Находим шаги волновой обмотки: $y_{1В} = 63 - 31 = 32$; $y_{КВ} = 63 - 3 = 60$. Так как шаг волновой обмотки, равный 60, и число пар параллельных ветвей этой обмотки $a_в$, равное 4, имеют общий делитель 4, то обмотка будет четырехкратно–замкнутая, причем две обмотки будут присоединены только к четным пластинам, а две – только к нечетным, т. е. секции волновой обмотки не соединяют нечетные пластины с четными, в то время как петлевая обмотка распадается на две обмотки, из которых одна приключена к нечетным пластинам, а другая – к четным.

Такая лягушечья обмотка работать не может, так как она распадается на части, не связанные между собой электрически. Во всех случаях при проверках схем лягушечьих обмоток поступают так, как указано выше, т. е. проверяют:

1) условия симметрии обмотки;

2) отсутствие э. д. с. между пластинами, отстоящими на расстояние шага уравнительных соединений, равного K/p;

3) наличие соединения между обмотками, в случае применения лягушечьих обмоток, в основу которых положены неоднократно–замкнутые сложно–петлевые обмотки.

Лягушечьи обмотки применяются многими заводами.

1–13. Практические схемы обмотки.

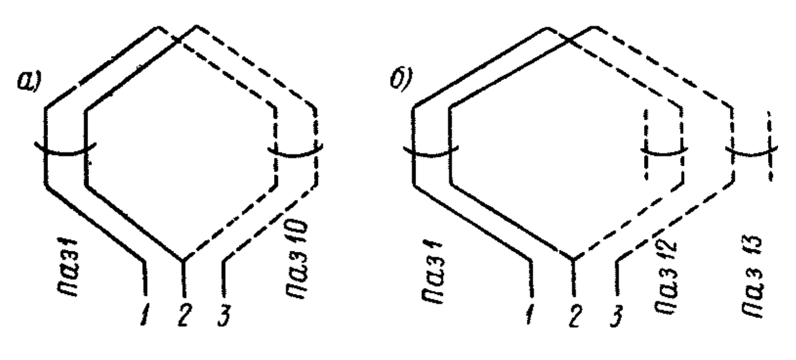


Рис. 1–51. Практические схемы петлевых обмоток.
а – равносекционной; *б* – ступенчатой.

Для изготовления обмотки якоря нет необходимости давать ее полную схему. Подробные схемы обмоток, изображенные ранее, необходимы только при их изучении, для выяснения числа параллельных ветвей, расположения щеток на коллекторе, расположения проводников отдельных параллельных ветвей под полюсами и т. д.

Для выполнения же обмотки якоря необходимо иметь данные для изготовления секций и соединения между ними, т. е. достаточно задать шаги по якорю y_1 и y_2, шаг по коллектору $yк$ и шаг по пазам $y_П$. Для больше наглядности эти шаги удобно представить в виде простых эскизов, как это показано на рис. 1–51.

Причем на рис. 1–51, *а* изображена часть схемы равносекционной петлевой обмотки. Из нее видно, что секции должны быть изготовлены такой ширины, чтобы расстояние между сторонами их было равно расстоянию между пазом 1 и пазом 10. Из этого же рисунка видно, что обе секции, лежащие рядом в пазу, можно изолировать вместе. На рис. 1–51, *б* приведена часть схемы ступенчатой петлевой обмотки. Так как секции, лежащие своими верхними сторонами в пазу 2, нижними сторонами лежат в пазах 12 и 13, то изолировать эти две секции вместе нельзя. В этом случае обмотку приходится изготовлять из полусекций, причем две полусекции, лежащие рядом в одном пазу, изолируются вместе. После укладки в пазы полусекции со стороны, противоположной коллектору, соединяются хомутиками. На рис. 1–52, а изображена схема волновой обмотки не ступенчатой, а на рис. 1–52, *б* – ступенчатой; этих схем вполне достаточно для определения ширины секции. Готовые секции укладываются в пазы якоря, и затем их соединяют между собой по заданному шагу по коллектору. Данные для выполнения уравнительных соединений приводятся обычно в виде таблицы (см. стр. 29 и 38).

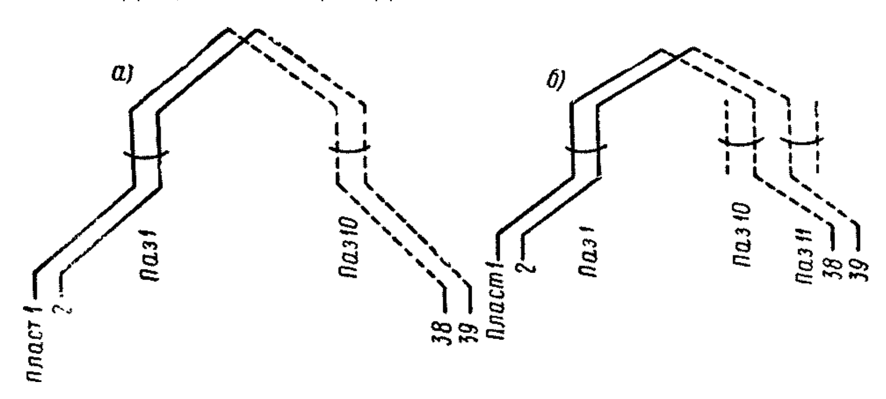


Рис. 1–52. Практические схемы волновых обмоток.
а – равносекционной; *б* – ступенчатой.

1–14. Электродвижущая сила машины.

Найдем, какая связь существует между скоростью вращения якоря, магнитным потоком машины, числом проводников обмотки якоря и э. д. с. машины. Введем следующие обозначения:

n – число оборотов машины в минуту; N – число проводников обмотки якоря; $2p$ – число полюсов машины; Φ – магнитный поток одного полюса; $2a$ – число параллельных ветвей обмотки; τ – полюсное деление – дуга якоря, соответствующая одному полюсу.

Э. д. с, индуктируемая в одном проводнике, согласно закону Фарадея, равна числу силовых линий, пересекаемых проводником в одну секунду. Обозначим через Т время в секундах, в течение которого проводник перемещается на одно полюсное деление, т. е. перерезает число силовых линий, равное магнитному потоку одного полюса. Э. д. с. одного проводника будет:

$$e = \frac{\Phi}{T} \times 10^{-8} \text{ вольт } (1 - 32)$$

При общем числе проводников обмотки якоря, равном N, и числе параллельных ветвей, равном $2a$, число проводников, приходящихся на одну параллельную ветвь, будет $N/2a$. Э. д. с. в проводниках каждой параллельной ветви складываются, поэтому э. д. с. параллельной ветви E будет равна э. д. с. одного проводника, умноженной на число проводников параллельной ветви, т. е.:

$$E = e \times \frac{N}{2a} = \frac{\Phi}{T} \times \frac{N}{2a} \times 10^{-8} \quad \text{вольт}$$

Последняя формула неудобна, потому что в нее входит величина T (время прохождения проводника под одним полюсом), которая требует дополнительных вычислений. Определим, чему равно T. Скорость перемещения проводника равна окружной скорости якоря, т. е.:

$$va = \frac{\pi \times Da \times n}{60}$$

где Da – диаметр якоря машины. Расстояние, соответствующее одному полюсу (полюсное деление), равно окружности якоря, деленной на число полюсов машины:

$$\tau = \frac{\pi \times Da}{2p}$$

Очевидно, что если τ, выраженное в сантиметрах, мы разделим на va, также выраженное в сантиметрах, то получим время T, т. е.

$$T = \frac{\tau}{va} = \frac{\pi \times Da \times 60}{2p \times \pi \times Da \times n} = \frac{60}{2p \times n}$$

Подставляя полученное выражение для T в формулу (1–33), получим окончательное выражение для э. д. с. машины:

$$E = \frac{\Phi \times 2p \times n}{60} \times \frac{N}{2a} \times 10^{-8} = \frac{p \times n}{60} \times \frac{N}{a} \times \Phi \times 10^{-8} \text{ в} \quad (1-34)$$

Так как все параллельные ветви якоря включены параллельно шинам, соединяющим одноименные щитки, то напряжение на зажимах машины будет равно э. д. с. одной параллельной ветви. Полученная формула э. д. с. машины является одной из важнейших формул в теории машин.

1–15. Определение сопротивления обмотки якоря.

Рассмотрим, как по основным данным обмотки якоря определить ее сопротивление. Обозначим длину одного проводника обмотки якоря (в метрах) через l, площадь поперечного сечения одного проводника (в мм^2) через q, удельное сопротивление материала проводника через ρ (сопротивление одного метра проводника при поперечном сечении в 1 мм^2). Сопротивление одного проводника:

$$r_1 = \rho \times \frac{l}{q} \quad (1-35)$$

Каждая параллельная ветвь обмотки содержит $N/2a$ проводников, соединенных последовательно, поэтому сопротивление одной параллельной ветви обмотки будет равно сопротивлению одного проводника, умноженному на число проводников одной параллельной ветви, т. е.

$$r_{\text{ВЕТ}} = r_1 \times \frac{N}{2a} = \rho \times \frac{l}{q} \times \frac{N}{2a} \quad (1-36)$$

Общее сопротивление обмотки якоря, которое мы обозначим через Ra, будет меньше сопротивления одной параллельной ветви обмотки во столько раз, сколько их имеет обмотка, т. е.

$$Ra = \rho \times \frac{l \times N}{(2a)^2 \times q} \quad (1-37)$$

При обмотке, изготовленной из меди (как это обычно и бывает), удельное сопротивление которой равно $^1/_{57}$, выражение для сопротивления принимает следующий вид:

$$Ra = \frac{l \times N}{57 \times (2a)^2 \times q} \quad (1-38)$$

1–16. Напряжение между отдельными элементами обмотки якоря.

Для того чтобы правильно изолировать обмотку якоря, необходимо знать, какие напряжения действуют между отдельными частями обмотки якоря и между обмоткой якоря и сталью. Эти напряжения можно определить, пользуясь рис. 1–53, на котором показана часть схемы петлевой обмотки якоря. Найдем величины напряжений, которые могут возникнуть между следующими элементами обмотки:

1) между соседними секциями по ширине паза Δu_1
2) между верхним и нижним слоями обмотки якоря Δu_2
3) между обмоткой якоря и стенками паза Δu_3

Напряжение Δu_1 между соседними секциями в пазу равно напряжению между соседними коллекторными пластинами, к которым присоединены эти секции. Так как расстояние между пластинами невелико (от 0,6 до 1 мм.) и коллектор бывает обычно в какой–то мере загрязнен щеточной пылью, то напряжение между пластинами при проектировании машины ограничивают такой величиной, которая не могла бы вызвать электрической дуги между ними. В машинах средней и большой мощности с одновитковыми секциями из прямоугольной меди это напряжение не бывает больше 40 *в*. Секции следует изолировать одну от другой, учитывая рабочее напряжение 40 *в*.
Конечно, изоляция по отношению к этому напряжению должна иметь большой запас. В машинах малой мощности, в которых секции выполняются из круглой меди и обычно имеют несколько витков (до 30), напряжение между соседними пластинами доходит до 60В, а в некоторых случаях и до 100 *в*. На это напряжение с необходимым запасом должна быть рассчитана изоляция проводников. В якорях с такими обмотками витки укладываются в пазы через щели (шлицы), при этом может иметь место такой неблагоприятный случай, когда рядом окажутся проводники, принадлежащие секциям, отдаленным друг от друга на число коллекторных пластин, приходящихся на паз. В этом случае напряжение между рядом лежащими проводниками может увеличиться в $u_п$ раз, где $u_п$ – число пластин, приходящихся на один паз. Таким образом, в машинах малой мощности, при неблагоприятных условиях и при $u_п$ = 5, напряжение между проводниками может увеличиться примерно до 300 *в*, при напряжении между пластинами 60 *в*. Рассматривая паз *А* на рис. 1–53, мы видим, что нижние стороны секций расположенные в этом пазу, приключены к коллекторным пластинам, находящимся под положительной щеткой, а верхние – к пластинам, находящимся под отрицательной щеткой. Из этого следует, что между слоями обмотки якоря действует полное напряжение машины, т. е. Δu_2 равно напряжению машины. Наконец, рассмотрим напряжение, действующее между секцией обмотки якоря и стенками паза. Для его определения предположим, что в одной из секций, например 2, повредилась изоляция, и она оказалась соединенной со сталью якоря.

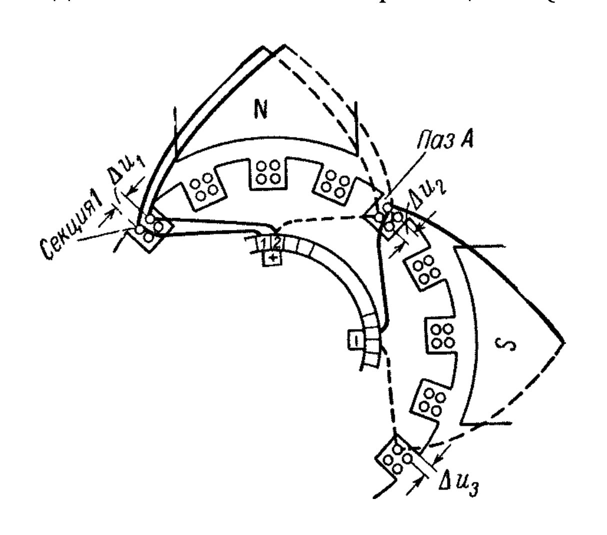


Рис. 1–53. Часть схемы петлевой обмотки якоря.

Тогда в тот момент, когда коллекторная пластина, к которой присоединена секция, окажется под положительной щеткой (этот момент и изображен на рис. 1–53), сталь якоря будет присоединена к положительной щетке, и у тех секций, которые в этот момент оказались присоединенными к отрицательной щетке, изоляция от стенок паза также будет находиться под полным напряжением машины.

Для того чтобы эта изоляция не была пробита, она должна быть рассчитана на полное напряжение машины. Остается еще рассмотреть напряжение, действующее между верхним и нижним слоями секций в лобовой части обмотки якоря. Можно показать, что это напряжение уменьшается по мере удаления от стали якоря. Непосредственно по выходе из паза оно равно полному напряжению машины, по удалении от стали якоря оно уменьшается и у головок обмотки равно нулю. В лягушечьей обмотке, как было указано ранее, напряжение между слоями обмотки будет разным. При выполнении по рис. 1–47, а напряжение между всеми слоями обмотки будет равно напряжению машины. При выполнении обмотки по рис. 1–47, *б* и 1–54 напряжения между слоями 1 и 2, 3 и 4 будет равно нулю, а между слоями 2 и 3, а также между головками обмоток со стороны, противоположной коллектору, действует полное напряжение машины.

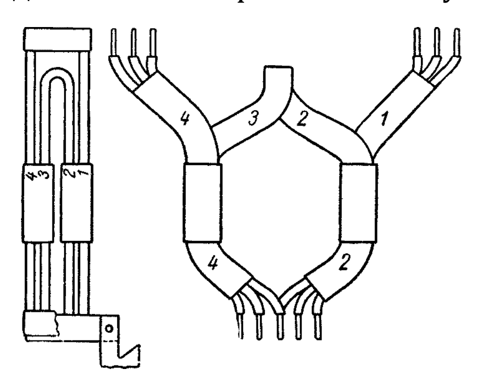


Рис. 1–54. Катушка лягушачьей обмотки.

1–17. Выбор обмотки якоря.

Для выяснения причин, которые влияют на выбор обмотки якоря, рассмотрим два простых примера. Пример 1. Требуется подобрать обмотку якоря для генератора, имеющего следующие данные: мощность P = 4,6 кВт. напряжение U = 115 *в*, ток I = 40 *А*, скорость вращения n = 600 об. мин. Число полюсов машины $2p$ = 4, диаметр якоря ее Da = 210 мм. Предположим далее, что по расчету магнитный поток на один полюс Φ может быть принят равным $0,9 \times 10^5$ мкс. Изменение этого магнитного потока при выборе обмотки якоря недопустима по следующим соображениям.

1. Увеличение магнитного потока потребовало бы увеличения тока в катушках возбуждения, что вызвало бы их перегрев.

2. Уменьшение магнитного потока Φ нежелательно по той причине, что оно, как следует из формулы (1–34), потребовало бы увеличения числа проводников обмотки якоря для получения заданного напряжения на зажимах машины. Увеличение же числа проводников вызывает увеличение сопротивления и перегрев ее (при одном и том же токе). На основании указанного при выборе обмотки якоря мы будем считать магнитный поток заданным. Для выбора обмотки якоря обратимся к формуле для э. д. с. машины:

$$E = \frac{p \times n}{60} \times \frac{N}{a} \times \Phi \times 10^{-8} \text{ в}$$

Из этой формулы видно, что при заданных э. д. с. E, числе пар полюсов p, магнитном потоке Φ и числе оборотов в минуту n, при выборе обмотки якоря можно оперировать двумя величинами: числом проводников обмотки и числом пар параллельных ветвей. Попытаемся осуществить для данного примера простую петлевую обмотку ($a = p = 2$). Число проводников, которое должно быть уложено на якорь, получаем из формулы (1–34):

$$N = \frac{60 \times a \times E \times 10^8}{p \times n \times \Phi} = \frac{60 \times 2 \times 125 \times 10^8}{2 \times 600 \times 0,9 \times 10^6} = 1390$$

Здесь E взято равным 125 *в*, исходя из того, что э. д. с. генератора должна быть больше напряжения на его зажимах на величину падения напряжения в якорной цепи, которая в примере принята равной 10 *в*. Поперечное сечение каждого проводника должно быть рассчитано на ток параллельной ветви, равный:

$$ia = \frac{I}{2a} = \frac{40}{4} = 10 \quad A$$

Если бы мы захотели такую обмотку выполнить с одним витком в секции (w = 1), то число коллекторных пластин было бы: $K = N/2 = 1390/2 = 695$. Коллектор с таким большим числом пластин трудно выполним, так как пластины получаются настолько тонкими, что в них нельзя впаять проводники обмотки якоря.
Действительно, если даже считать, что диаметр коллектора равен диаметру якоря, т. е. 210 мм. (обычно диаметр якоря больше диаметра коллектора), то ширина коллекторной пластины вместе с изоляционной прокладкой будет $\pi \times 210/695 = 0{,}95$ мм. Толщина миканитовой прокладки между пластинами равна 0,6 – 0,8 мм., следовательно, толщина коллекторной пластины будет не более 0,35 мм. Для того чтобы устранить эти затруднения в изготовлении коллектора, необходимо увеличить число витков в каждой секции с тем, чтобы ширина коллекторного деления (коллекторная пластина и миканитовая прокладка) была не меньше 3,5 – 4 мм. Правда, для высоковольтных машин постоянного тока приходится применять коллекторные пластины толщиной до 2 мм., но это связано с большими сложностями. В нашем примере для получения необходимой толщины коллекторного деления нужно уменьшить число коллекторных пластин по крайней мере в 4 раза, т. е. взять четыре витка в секции. Тогда число пластин: $K = 1390/2 \times 4 \approx 173$. Выполнение коллектора может быть облегчено уменьшением числа коллекторных пластин, для чего надо перейти от полученной петлевой обмотки к простой волновой. Последняя имеет в четырехполюсной машине число параллельных ветвей в два раза меньше.
Это вызывает следующие изменения в обмотке якоря:
1) число проводников обмотки якоря уменьшается в два раза (см. формулу 1–34);
2) поперечное сечение проводников обмотки якоря будет в два раза больше;
3) при прежнем числе коллекторных пластин число витков в секции будет в два раза меньше или же, если сохранить четыре витка в секции, число коллекторных пластин будет в два раза меньше. Сравнивая эти два варианта обмоток, нетрудно видеть, что предпочтение следует отдать волновой обмотке, обладающей рядом преимуществ:
1) меньшее число проводников обмотки якоря дает возможность положить в пазы заданного якоря больше меди, так как место, занятое изоляцией, будет меньше (иначе говоря, при переходе к волновой обмотке сечение проводников может быть увеличено несколько больше, чем в два раза, что ведет к уменьшению сопротивления якоря и перегрева его);
2) волновая обмотка не требует уравнительных соединений;
3) меньшее число витков в секции волновой обмотки улучшает коммутацию машины, так как уменьшается э. д. с. самоиндукции секции, замкнутой накоротко щеткой при изменении направления тока в ней.
Пример 2. Требуется выбрать обмотку якоря для генератора, имеющего следующие данные: мощность P = 1000 кВт, напряжение U = 600 *в*, ток I = 1660 A, скорость вращения n = 730 об. мин. Число полюсов машины $2p$ = 8, диаметр якоря Da = 1100 мм. Как и в предыдущем примере, будем считать магнитный поток машины Φ заданным и равным $8{,}5 \times 10^6$ мкс. Попытаемся в этом случае применить простую волновую обмотку (a = 1). Для такой обмотки число проводников будет:

$$N = \frac{60 \times a \times E \times 10^8}{p \times n \times \Phi} = \frac{60 \times 1 \times 620 \times 108}{4 \times 730 \times 8{,}5 \times 10^6} \approx 150$$

(620 *в* – с учетом падения напряжения). Число коллекторных пластин: $K = N/2 = 150/2 = 75$. Нетрудно показать, что машина, выполненная с такой обмоткой, работать не будет из–за большого напряжения между коллекторными пластинами, которое вызовет электрическую дугу на коллекторе. Между двумя соседними щеточными болтами, удаленными друг от друга на расстояние полюсного деления по коллектору, действует напряжение машины U; между этими щеточными болтами расположено число коллекторных пластин, приходящихся на один полюс, т. е. $K/2p$. Если принять, что напряжение между пластинами распределено равномерно, то среднее напряжение между ними: $e_{К.СР} = 2p \times U/K$. Для нашего примера получаем: $e_{К.СР} = 2p \times U/K = 8 \times 60/75 = 64$ *в*. Максимальное напряжение между пластинами будет больше, так как в зазоре индукция распределена неравномерно (под серединой полюса она больше), и в момент, когда стороны секции проходят под серединами полюсов, э. д. с. в секции имеет максимальное значение. Известно, что электрическая дуга возникает при напряжении между электродами порядка 30–35 *в*; следовательно, если выполнить машину с простой волновой обмоткой, электрическая дуга на коллекторе неизбежна и, конечно, машина при таких условиях работать не может.

Есть еще ряд причин, которые заставляют отказаться в данном случае от применения простой волновой обмотки. Из них отметим только одну, а именно: большой ток в параллельной ветви. Такой ток обычно вызывает искрение машины. Практика рекомендует не брать ток параллельной ветви, превышающий 500–600 *А*, обычно стремятся к тому, чтобы он не был больше 300 *А*. Из всего изложенного следует, что для этой машины применение простой волновой обмотки недопустимо. Переход на простую параллельную обмотку ($2a = 2p = 8$) устраняет все неприятности, связанные с применением простой волновой обмотки. Число проводников и коллекторных пластин в простой петлевой обмотке будет в четыре раза больше, чем в волновой, и следовательно, среднее напряжение между коллекторными пластинами: $e_{к.ср} = 64/4 = 16$ *в*. Ток в параллельной ветви обмотки: $ia = 1660/8 \approx 208$ *А*. Остается еще проверить, не слишком ли тонки будут коллекторные пластины. Число их будет: $K = 4 \times 75 = 300$. Приняв диаметр коллектора равным 700 мм., получим коллекторное деление, равное $3{,}14 \times 700 = 7{,}35$ мм., что вполне допустимо.

Из разобранных двух примеров видно, что выбор обмотки якоря в основном определяется следующими условиями:

1) число коллекторных пластин не должно быть слишком велико, так как необходимо, чтобы пластины были достаточной толщины для возможности впайки в них проводников обмотки якоря (на практике избегают брать ширину коллекторного деления меньше 3,5 мм.);

2) число коллекторных пластин должно быть таково, чтобы максимальное напряжение между соседними пластинами не было больше 35 *в* (в небольших машинах допускаются большие напряжения);

3) ток в параллельной ветви обмотки якоря не должен превышать 300 *А*.

Это – основные условия. При выполнении их предпочтение следует отдавать простой волновой обмотке, не имеющей уравнительных соединений. Кроме того, при такой обмотке число проводников будет наименьшим, поэтому место, занимаемое изоляцией проводников, также уменьшится. Пазы могут быть сделаны уже, а зубцы шире, и для проведения магнитного потока через зубцы потребуется меньше ампервитков. Не вдаваясь глубже в вопросы выбора, укажем области применения разных типов обмоток. Простая волновая обмотка может быть применена в машинах при следующих значениях мощности и напряжения:

при напряжении 110 *в*........до 50 кВт
при напряжении 220 *в*........до 100 кВт
при напряжении 440 *в*........до 250 кВт

Простая петлевая обмотка применяется в машинах с током якоря больше 300–400 *А*.

Для машин мощностью 150–300 кВт в ряде случаев, когда при петлевой обмотке получается слишком большое число коллекторных пластин, применяются сложно–волновые обмотки.

Сложно–петлевые обмотки применяются в низковольтных машинах и в машинах большой мощности. В качестве примеров, иллюстрирующих области применения различных типов обмоток, см. табл. 1–5.

Таблица 1–5. Данные обмоток выполненных машин.

Данные машины			Диам. якоря, *Da*, см.	2*p*	*Z*	Тип обмотки	Число пар паралл. ветвей	Число пров-ов в пазу $s_п$	Число коллек. пластин *K*	Число витков в секции *w*	Шаги			Шаг по пазам	Число уравнителей
P, Квт	*U*, В	*n*, об. мин.									y_1	y_2	$y_к$		
4,5	220	1450	16	4	29	Простая волновая	1	26	87	4	21	22	43	1п – 8п	–
25	115	250	50	8	67	Простая волновая	1	6	201	5	24	26	50	1п – 9п	–
150	230	600	54	6	100	Сложно–волновая	2	4	200	1	33	33	66	–	8
250	120	750	60	6	99	Простая петлевая	3	2	99	1	16	15	1	–	8
1750	750	500	180	12	198	Простая петлевая	6	6	594	1	49	48	1	–	в петушках

1–18. Обмотки полюсов.

Как было указано в §1–1, в машине постоянного тока имеются главные полюсы, которые создают основной магнитный поток, и добавочные полюсы, предназначенные для улучшения коммутации. В зависимости от способа возбуждения машины (параллельное, последовательное или смешанное) на главных полюсах располагаются по одной или по две катушки. При смешанном возбуждении одна катушка (параллельная или шунтовая) получает питание от зажимов машины или от постороннего источника, вторая катушка (последовательная или сериесная) соединяется последовательно с якорем. В некоторых специальных случаях на полюсе располагаются несколько катушек.

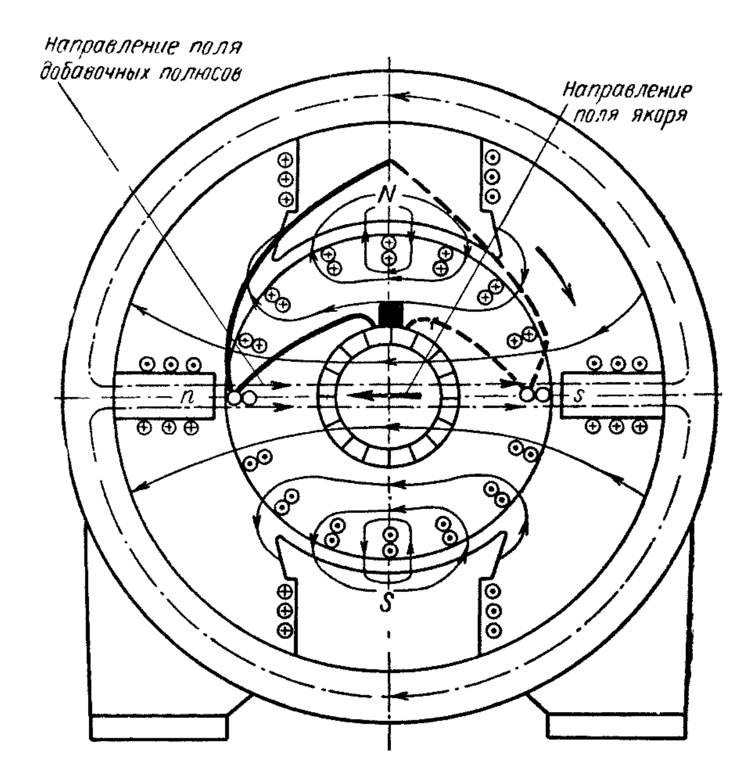


Рис. 1–55. Поле реакции якоря и добавочных полюсов.

Для улучшения коммутации машины катушки добавочных полюсов должны быть включены таким образом, чтобы магнитное поле, создаваемое ими, было направлено против магнитного поля, создаваемого током в обмотке якоря, т. е. чтобы в нейтральной зоне, где располагаются короткозамкнутые щетками якорные секции, поле катушек добавочных полюсов уничтожало поле токов якоря, называемое полем реакции якоря.

Для решения этой задачи и определения полярности полюсов необходимо знать, как будут направлены магнитные линии, создаваемые током, протекающим по проводнику или катушке. Это определяется следующим правилом: *при направлении тока от нас магнитные силовые линии вокруг проводника или стороны катушки направлены по часовой стрелке, при направлении тока к нам силовые линии направлены против часовой стрелки.* Пользуясь этим правилом, нетрудно установить порядок чередования главных и добавочных полюсов. На рис. 1–55 изображена двухполюсная машина, у которой якорь при работе генератором вращается по часовой стрелке. Тонкими линиями показано направление силовых линий реакции якоря. В верхней части рисунка по часовой стрелке (ток якоря направлен от нас), в нижней части рисунка – против часовой стрелки. Для того чтобы силовые линии добавочных полюсов (на рисунке пунктирные) были направлены против поля реакции якоря, направление тока в катушках добавочных полюсов должно соответствовать показанному на этом рисунке. Таким образом, чтобы токи в катушках добавочных полюсов уничтожали поле реакции якоря необходимо, чтобы в пространстве, охватываемом силовой линией добавочных полюсов, сумма токов равнялась нулю. Из рис. 1–55 видно, как должны чередоваться полярности главных и добавочных полюсов в генераторе: при следовании по вращению якоря за добавочным полюсом одной полярности (*n*), должен следовать главный полюс (*N*) той же полярности.

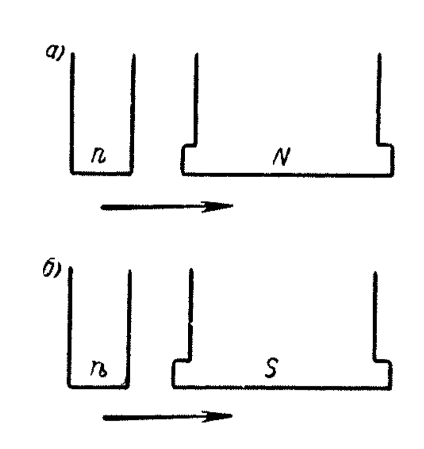


Рис. 1–56. Порядок чередования главных
и добавочных полюсов
у генератора (*а*) и двигателя (*б*).
Стрелкой показано направление вращения якоря.

Так как при тех же направлениях тока и полярности якорь машины, работающей двигателем, вращался бы против часовой стрелки, то отсюда следует, что в двигателе по направлению вращения якоря за добавочным полюсом одной полярности (*n*) следует главный полюс противоположной полярности (*S*). Порядок чередования главных и добавочных полюсов показан на рис. 1–56. Катушки добавочных полюсов должны быть соединены последовательно с якорем, для того чтобы при любом токе якоря они выполняли свое назначение. В больших машинах постоянного тока в полюсных башмаках главных полюсов имеются пазы, в которые укладывается так называемая компенсационная обмотка. Назначение этой обмотки может быть пояснено рис. 1–55. Как видно из этого рисунка, поле якоря под одним краем полюса (правым краем полюса *N* и левым – полюса *S*) усиливает поле главных полюсов, т. е. силовые линии главного полюса и поля реакции якоря складываются. В результате этого э. д. с. в секции обмотки якоря, а следовательно, и напряжение между соседними коллекторными пластинами при движении ее под этим краем полюса увеличиваются. Это увеличение напряжения между пластинами во многих случаях недопустимо, так как оно может привести к электрической дуге между ними.

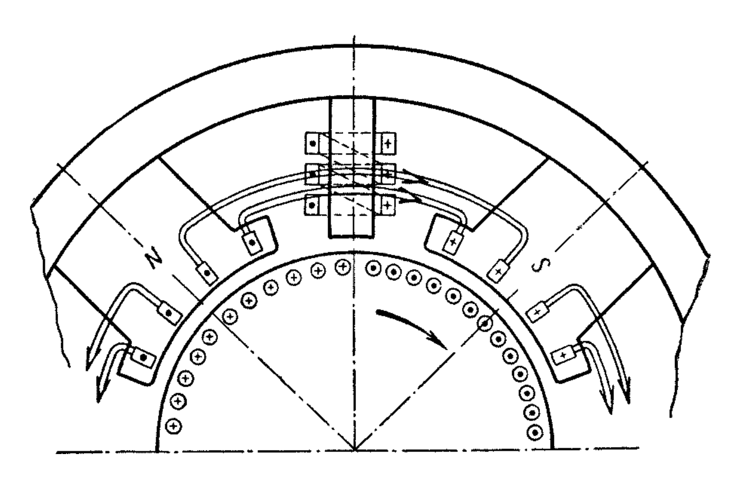


Рис. 1–57. Направление тока
в компенсационной обмотке.

Назначение компенсационной обмотки – уничтожить действие реакции якоря под полюсной дугой, чтобы избежать недопустимого повышения напряжения между соседними коллекторными пластинами. Для этого обмотку соединяют последовательно с якорем и направляют ток в ней против тока в лежащей под полюсом части обмотки якоря (см. рис. 1–57). Из этого рисунка видно, что токи в компенсационной обмотке двух соседних полюсов направлены таким образом, что они образуют витки вокруг находящегося между ними добавочного полюса, причем поток, создаваемый этими витками, совпадает по направлению с потоком добавочного полюса. Для правильного соединения обмоток добавочных полюсов и компенсационной с якорем необходимо знать полярности щеток на коллекторе. На рис. 1–58 показана полярность щеток, расположенных по оси, проходящей через середину главного северного полюса; причем полярность, указанная без скобок, соответствует не перекрещенным обмоткам якорей (для петлевых обмоток с $y_K = +m$, см. рис. 1–21, *а*; для волновых обмоток с $y_K = K - a/p$), полярности в скобках перекрещенным обмоткам якорей (для петлевых обмоток, с $y_K = -m$, см. рис. 1–21, *б*; для волновых с $y_K = K + a/p$). При изменении направления вращения полярность щеток также изменяется. При выполнении уравнительных соединений в петушках (рис. 1–41) для не перекрещенной обмотки полярность указана в скобках. Эти полярности справедливы для генератора и двигателя, только нужно помнить, что в генераторе из плюса ток выходит, а у двигателя к плюсу ток подходит и идет дальше в обмотку якоря. Все изложенное выше справедливо для обычной симметричной формы лобовых частей секций обмотки якоря (см. рис. 1–14).

При соединении катушек полюсов и компенсационной обмотки, включаемых последовательно с якорем, необходимо чтобы соединительные провода не создавали витка с током одного направления вокруг вала. Такой виток намагничивает вал, в результате чего в нем будет индуктироваться э. д. с. (униполярной индукции), которая может привести к разъеданию подшипников, что особенно опасно для машин с током якоря больше 300А. Для шунтовых обмоток это требование несущественно, так как ток в шунтовых катушках невелик. Из всего изложенного можно сформулировать требования, которые должны быть выполнены при соединении катушек полюсов магнитной системы.

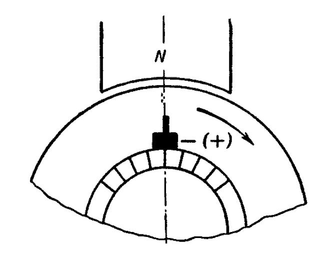


Рис. 1–58. К определению полярности щеток.

1. Катушки главных полюсов должны быть соединены между собой так, чтобы полярности полюсов чередовались.

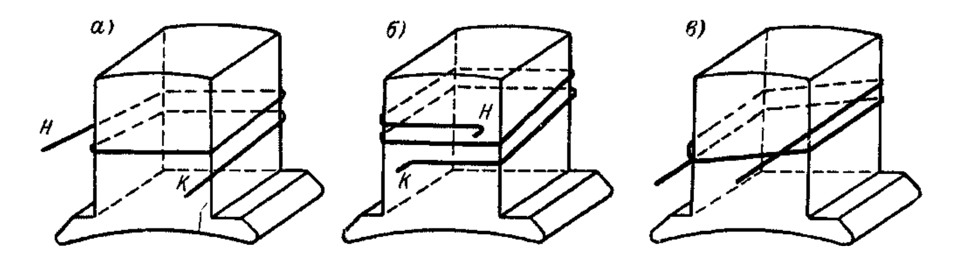


Рис. 1–59. Направление намотки катушек полюсов: по часовой стрелке с недоводом (*а*), с переводом (*б*), против часовой стрелки (*в*).

2. Если на главном полюсе имеются две или больше катушек, то они должны быть включены согласно друг с другом (т. е. создавать магнитное поле одного направления), либо встречно, в зависимости от требований, предъявляемых к машине.

3. Катушки добавочных полюсов в компенсационной обмотке должны быть так включены, чтобы чередование полярностей главных и добавочных полюсов соответствовало рис. 1–56.

4. Соединительные шины добавочных полюсов и компенсационной обмотки не должны создавать витка с током одного направления вокруг вала. Следует отметить, что виток вокруг вала, создаваемый соединительными шинами добавочных полюсов, может быть скомпенсирован витком вокруг вала, образованным соединительными шинами катушек последовательной обмотки (сериесной) или токособирательными шинами траверсы. При соединении катушек полюсов надо знать направление их намотки, а также выполнены ли они с "недоводом" или "переводом". На рис. 1–59 показано различное выполнение катушек полюсов. На рис. 1–60 приведена схема соединений катушек главных полюсов. Из нее видно, что для получения правильного чередования полярности полюсов при одинаковом направлении их намотки, необходимо конец катушки соединить с концом, и начало – с началом. На рис. 1–62 показана схема соединений полюсов, в которой виток вокруг вала, созданный соединениями катушек добавочных полюсов, частично компенсируется витком, образованным токами, протекающими по токособирательным шинам траверсы. На рис. 1–63, 1–64 показаны примеры выполнения схемы соединений машин с компенсационной обмоткой. Схемы изображены в развернутом виде, если смотреть на полюсы из центра вала. На первом из них пунктиром показан обратный ход обмотки. Соединения не образуют витка с током вокруг вала, т. е. схема бифилярная. На втором – соединения также не образуют витка вокруг вала. Соединительные шины d_1 и d_2 необходимо пропустить в одном окне или же по наружной стороне станины, чтобы они не влияли на поле главных и добавочных полюсов. Изложенные выше общие положения дают возможность составить правильную схему соединения катушек в более сложных случаях.

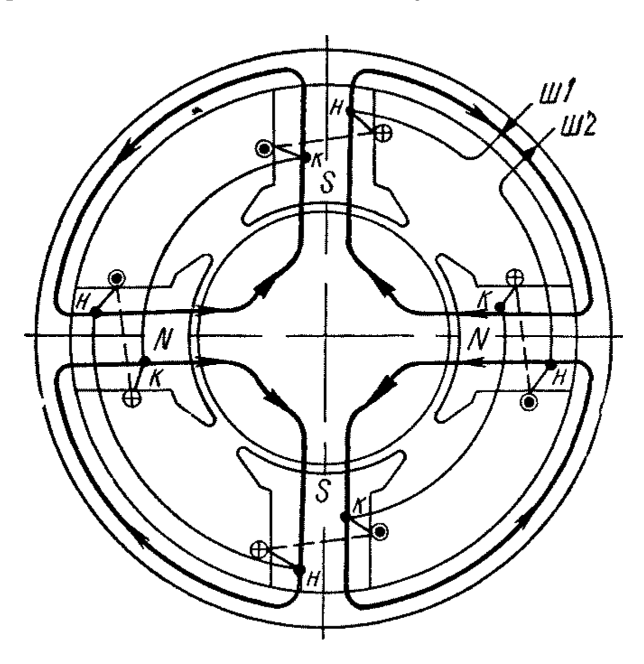


Рис. 1–60. Схема соединения катушек главных полюсов.

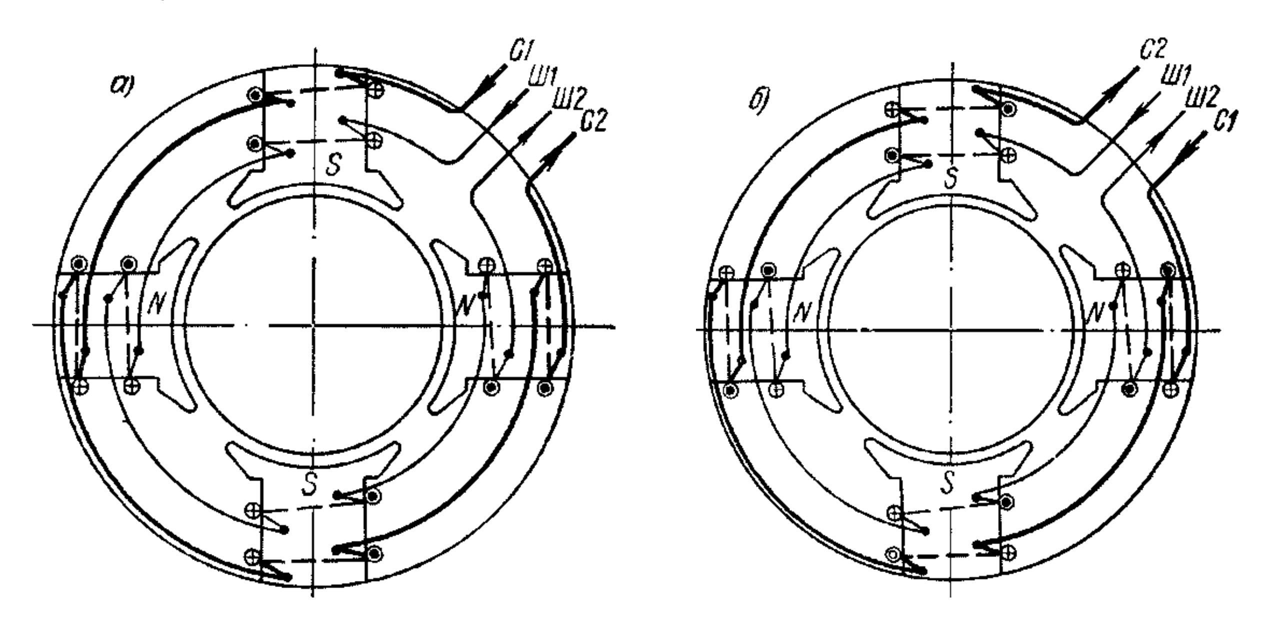


Рис. 1–61. Схема соединения катушек главных полюсов при смешанном соединении при согласованном включении (*а*), при встречном (*б*).

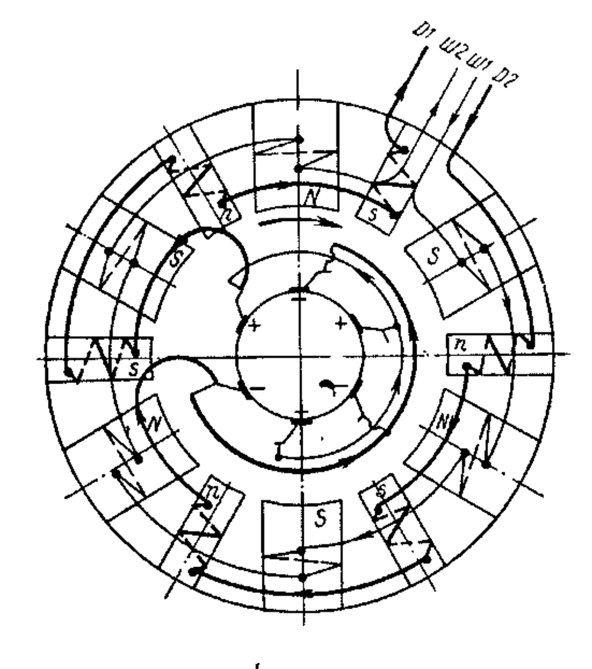


Рис. 1–62. Схема соединения катушек полюсов и токособирательных шин.

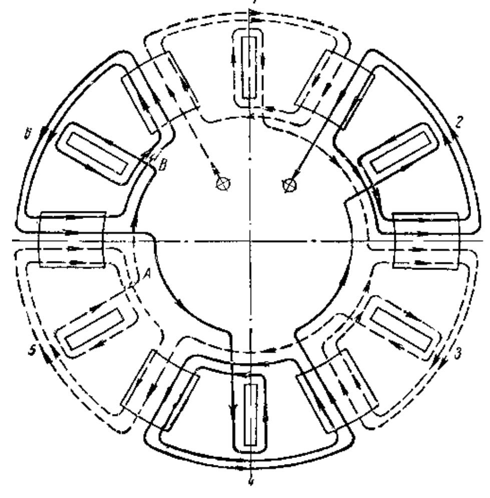


Рис. 1–63. Схема соединений компенсационной обмотки при четном числе стержней в полюсном башмаке и последовательном соединении всех стержней.

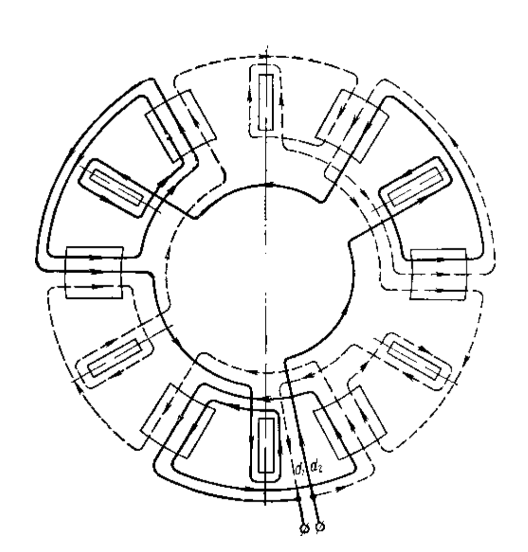


Рис. 1–64. Схема компенсационной обмотки при нечетном числе стержней в полюсном башмаке и соединении стержней в две параллельные ветви (одна ветвь изображена сплошными линиями, вторая пунктиром).

Глава вторая обмотки машин переменного тока.

2–1. Общие сведения.

Из машин переменного тока в настоящее время наибольшее распространение получили асинхронные двигатели и синхронные генераторы и двигатели. Коллекторные машины переменного тока применяются значительно реже. Так же как и обмотки машин постоянного тока, обмотки машин переменного тока представляют собой определенное число проводников, расположенных в статоре или роторе. По способу соединения проводников в катушки обмотки разделяются на петлевые и волновые. В отличие от обмоток якоря машин постоянного тока обмотки статоров машин переменного тока являются незамкнутыми. В трехфазных машинах они состоят из трех отдельных частей (фаз), которые с помощью дополнительных проводов соединяются между собой звездой или треугольником.

Кроме общих требований, которые предъявляются и к обмоткам машин постоянного тока, как–то: наименьший расход меди, наименьший вылет лобовых частей, удобство в изготовлении и в ремонте и т. п., к обмоткам статора предъявляется ряд специфических требований, из которых здесь рассмотрим только два основных. Согласно ГОСТ 183–66, напряжение на зажимах обмотки статора синхронного генератора должно быть по возможности более близким к синусоидальному. Это требование примем за основу при сравнении различных типов обмоток генераторов между собой. В асинхронных двигателях обмотка статора создает вращающееся магнитное поле. Если это поле распределяется по полюсному шагу не синусоидально, то двигатель работает плохо. Поэтому требование, чтобы обмотка статора создавала синусоидально распределенное магнитное поле, является основным и его можно принять за основу при сравнении различных типов обмоток статоров асинхронных двигателей.

2–2. Трехфазные однослойные обмотки статоров синхронных машин.

При вращении возбужденного ротора с постоянной скоростью его магнитный поток пересекает проводники обмотки статора и индуктирует в них переменную э. д. с. При холостом ходе эта э. д. с. равна напряжению на зажимах машины.

а. Э. д. с. одного проводника.

Возьмем двухполюсную машину с полюсами ротора N и S и предположим, что потоки полюсов распределяются в воздушном зазоре синусоидально. Поместим в один из пазов статора проводник, тогда при вращении ротора со скоростью v в нем будет индуктироваться э. д. с.:

$$e = Bm \times sin\alpha \times l \times v \times 10^{-8} = Em \times sin\alpha$$

где Em – максимальное значение э. д. с. $E_m = l \times v \times B_m \times 10^{-8}$ *в*; α – угол поворота ротора в электрических градусах; Bm – максимальное значение магнитной индукции под серединой полюса в *гс.*; l – длина проводника в см.; v – скорость ротора в см/сек.; 10^{-8} – множитель, позволяющий получать э. д. с. в вольтах. Действующее значение э. д. с. (измеряемое вольтметром) меньше Em в $\sqrt{2}$:

$$E = \frac{Em}{\sqrt{2}}$$

Выше приведенная формула показывает, что если изменение э. д. с. во времени изобразить в виде кривой, то она будет являться копией кривой распределения индукции B поля ротора. Поэтому прежде чем перейти к изучению обмоток, рассмотрим распределение магнитной индукции поля ротора современных синхронных машин.

б. Кривая поля.

Кривую распределения магнитной индукции в воздушном зазоре машины в дальнейшем будем называть кривой поля. Во всех современных синхронных машинах стремятся иметь синусоидальную кривую поля, так как в этом случае получаются меньшие потери и лучше используется магнитный поток полюса. Для того чтобы кривая поля была более синусоидальной в явнополюсных машинах (рис. 2–1), полюсным наконечникам придают специальное очертание – зазор у краев берут в 1,5–2 раза больше, чем под серединой. Для этого наконечник (башмак) очерчивают по окружности радиусом R_p – меньшим, чем (R–δ), где R – радиус расточки статора и δ – зазор под серединой башмака. В неявнополюсных машинах(турбогенераторах) обмотка ротора размещается в его пазах и располагается не по всей окружности ротора, а примерно только на ⅔ ее (рис. 2–2).

Несмотря на эти меры, нельзя быть уверенным, что кривая поля будет синусоидальной. Объясняется это тем, что на распределение поля оказывает влияние магнитное сопротивление не только воздушного зазора между статором и ротором, но и всех остальных участков магнитной цепи: зубцов и "спинки" статора, сердечников полюсов и обода ротора, а также выполнение крепления полюсов к ободу ротора. Даже в тех случаях, когда можно пренебречь сопротивлением этих участков, для получения синусоидальной кривой необходимо придавать башмакам полюсов более сложное очертание, а в неявнополюсных машинах применить более сложное распределение проводников по пазам. Поэтому всегда нужно считаться с возможной не синусоидальностью кривой поля.

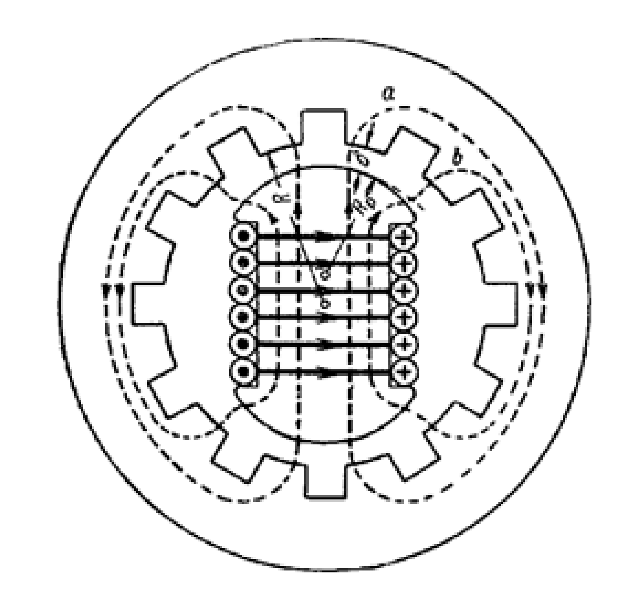


Рис. 2–1. Магнитное поле ротора явнополюсной синхронной машины.

Кривые поля выполненных синхронных машин обычно имеют следующие характерные особенности:

1) кривые поля различных полюсов одинаковы по форме.
2) кривые поля симметричны относительно осей полюсов.
3) кривая поля имеет более приплюснутый вид, чем синусоида.

Первая особенность объясняется тем, что при тщательном выполнении машины магнитная цепь каждого полюса получается совершенно одинаковой. Если говорят, что кривая симметрична относительно какой–нибудь оси, то это указывает на равенство ординат в точках кривой, одинаково удаленных от этой оси. Предположим, что статор выполнен гладким, т. е. без пазов, тогда кривая поля изобразится кривой *C* (рис 2–3). Проведем ось полюса *AA*. Отложим на горизонтальной оси *BB* точки *a*, *a*', *b*, *b*', *c*, *c*' и т. д., причем *Oa* = *Oa*', *Ob* = *Ob*', *Oc* = *Oc*' и т. д. Если ординаты *aa* = *a*'*a*', *bb* = *b*' *b*', *cc* = *c*'*c*' и т. д., то кривая является симметричной относительно оси полюса. Эта симметрия объясняется тем, что магнитная цепь между каждыми двумя соседними полюсами ротора одинакова. Поэтому каждая половина магнитного потока полюса, замыкаясь через соседний полюс, встречает одно и то же магнитное сопротивление. Приплюснутый вид кривой поля вызывается насыщением магнитной цепи машины. Действительно, при насыщенной магнитной цепи магнитное сопротивление в стали становится более заметным в общем магнитном сопротивлении, чем при менее насыщенной машине. Чем ближе к оси полюса, тем длиннее силовые линии и тем больше для них магнитное сопротивление в стали.

Так, например, на рис. 2–1 и 2–2 силовая линия *a* длиннее линии *b* и поэтому встречает в стали большее магнитное сопротивление. Но обе силовые линии замыкаются вокруг одного и того же числа витков обмотки ротора и поэтому находятся под одинаковым магнитным напряжением. Вследствие этого кривая поля и принимает более плоский вид.

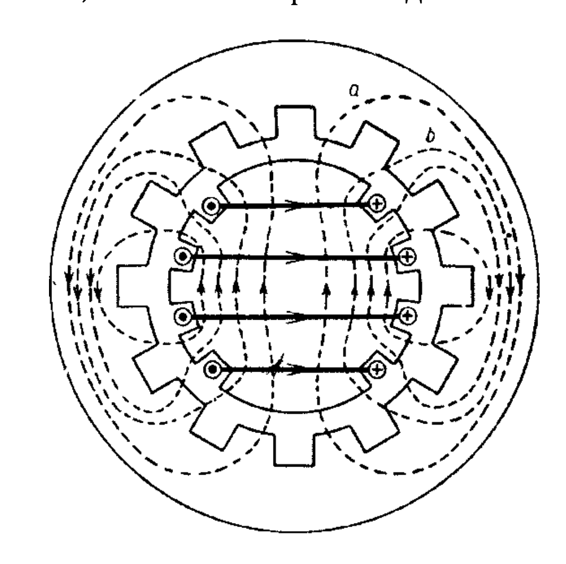


Рис. 2–2. Магнитное поле ротора неявнополюсной синхронной машины.

Выше мы выяснили, что кривая э. д. с. является копией кривой поля. При соответствующем подборе масштаба для э. д. с. кривая поля может одновременно служить кривой изменения э. д. с. проводника (см. рис. 2–3). Кривая поля (C) может служить и кривой э. д. с, которая изменяется по сложной несинусоидальной форме.

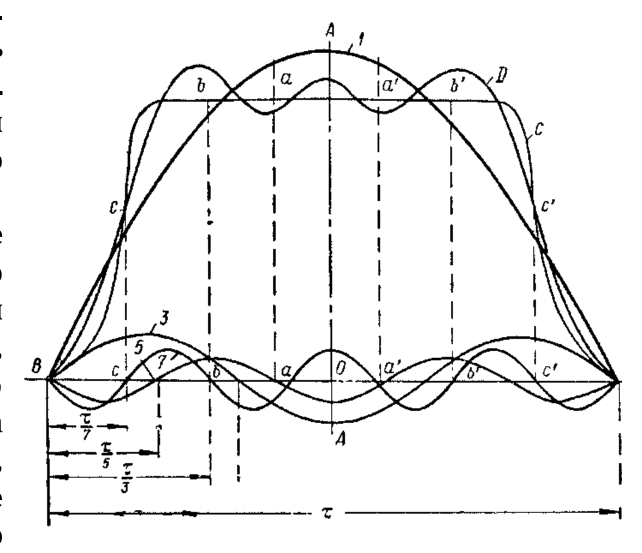


Рис. 2–3. Кривая поля синхронной машины

Пользоваться такой кривой крайне затруднительно. Поэтому действительную кривую распределения магнитного поля заменяют рядом синусоидальных кривых, должным образом подобранных по амплитуде и периоду, э. д. с. проводника определяют как сумму э. д. с, индуктированных в проводнике синусоидальными составляющими поля, что особенно удобно при изучении работы машины.

В теории синхронных машин доказывается, что распределение магнитного поля ротора практически будет соответствовать действительному, если кривую поля C заменить суммой синусоидальных кривых 2, 3, 5 и 7. При этом полюсный шаг поля 1 равен полюсному шагу τ полюсов ротора. Полюсные шаги полей 5, 5 и 7 в 3, 5 и 7 раз меньше полюсного шага поля 1. Часто синусоидальные кривые 2, 3, 5 и 7 называют гармоническими составляющими или гармониками поля ротора. Гармоника 1 называется главной, основной или первой, гармоника 3 называется третьей гармоникой, гармоника 5 – пятой и 7 – седьмой.

Складывая гармоники 1,3,5 и 7, получим кривую D, близкую к действительной кривой C. Для более близкого совпадения кривых C и D необходимо, очевидно, взять еще целый ряд гармоник с еще более мелким полюсным шагом. Как увидим ниже, наличие в статоре зубцов и пазов вносит в кривую поля и в кривую э. д. с. добавочные искажения, так что изображенная на рис. 2–3 кривая поля при сделанных выше оговорках справедлива только при гладком статоре (без пазов).

в. Э. д. с. витка и катушки.

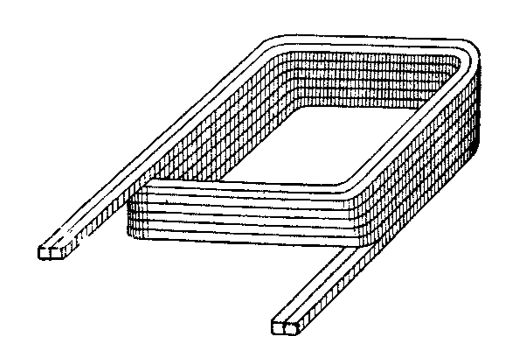


Рис. 2–4. Катушка, состоящая из шести витков двойного проводника

Обычно обмотка статора укладывается в пазах, выштампованных в активной стали статора. Число пазов и их размеры определяют при расчете машины. Катушка, как известно, представляет собой несколько последовательно соединенных витков, стороны которых лежат в одних и тех же пазах. Если сечение проводника витка получается большим, то для удобства намотки проводник разбивают на несколько параллельных меньшего сечения. В таких случаях говорят, что каждый виток (активный) состоит из двух, трех и т. д. проводников. Число активных проводников в пазу и число активных витков в катушке, определяющих индуктированную в ней э. д. с, остается тем же, что и при применении одинарного проводника. К такому же дроблению сечения проводников прибегают для уменьшения потерь в обмотке, так как при переменном токе потери в проводниках большого сечения больше, чем потери в нескольких параллельных проводниках того же общего сечения.

Исходя из этих же соображения, прямоугольные проводники следует укладывать в пазу плашмя. На рис. 2–4 изображена катушка, имеющая шесть последовательно соединенных витков из двойного проводника. Обычно та часть катушки, которая лежит в пазах и которая пересекается главным магнитным потоком, называется активной частью, а та, которая лежит вне пазов и служит только для соединения между собой активных частей, называется лобовой частью. Рабочий процесс изготовления и укладки катушек ставит форму лобовых частей в зависимость от многочисленных факторов; многообразие типов обмоток, которое мы встречаем в практике, во многих отношениях определяется различным выполнением лобовых частей. Поэтому вид катушки, изображенной на рисунке, является только принципиальным. Назовем стороной катушки проводники, лежащие в одном пазу. Так как катушка, состоит из двух сторон, то э. д. с. катушки будет зависеть от э. д. с. ее отдельных сторон. Поэтому чтобы узнать, чему будет равна э. д. с. катушки и как она будет изменяться во времени, необходимо сначала выяснить, чему будут равны э. д. с. отдельных сторон и как эти э. д. с. будут изменяться во времени и складываться друг с другом. Если концы проводников, находящиеся с одной стороны статора, обозначить началом, а находящиеся с другой – концами, то конец одного проводника соединяется с концом другого. Поэтому если направление э. д. с. проводников совпадает, то э. д. с. катушки будет равна их разности, если же они направлены противоположно, по сумме (рис. 2–5).

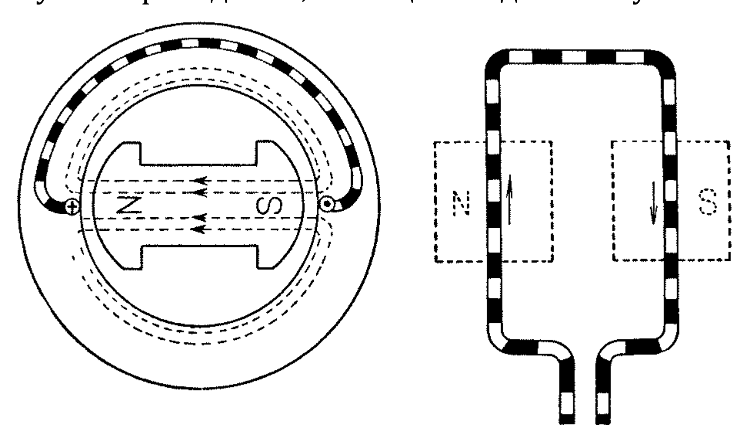


Рис. 2–5. Направление э. д. с. в витке.

Такое соединение сторон катушки будем называть согласным. Вполне очевидно, что для лучшего использования обмотки вторую сторону нужно расположить так, чтобы в каждый момент времени ее э. д. с. была направлена противоположно э. д. с. первой стороны и была той же величины. Тогда э. д. с. катушки в каждый момент времени будет в два раза больше э. д. с. отдельной стороны. Для этого вторую сторону катушки должны поместить в такой паз, в котором магнитная индукция в месте нахождения этой стороны в каждый момент времени была одинакова по величине и противоположна по направлению магнитной индукции в месте нахождения в этот же момент времени первой стороны катушки. На рис. 2–6 изображен статор и ротор четырехполюсной явнополюсной синхронной машины. Из него видно, что если проводник поместить в точку 1, то точками, в которых индукция будет той же величины, но другого направления, будут точки 2 и 4. Все три точки 1, 2 и 4 находятся в данный момент времени на оси полюсов. Нетрудно увидеть, что расстояние от точки 1 до точки 2 с одной стороны, и до точки 4 – с другой, равно полюсному делению τ. Так как магнитное поле каждого полюса распределяется по полюсному делению по одинаковой кривой, то при расположении проводников на расстоянии полюсного шага они будут пересекаться одинаковыми по величине и противоположными по направлению магнитными полями. Поэтому для образования катушки мы можем взять или стороны 1–2 или стороны 1–4. Если взять стороны 1–2, то другая катушка образуется из сторон 3–4. Если же взять стороны 1–4, то другая катушка составится из сторон 2–3. На рисунке сплошной линией показаны катушки, образованные сторонами 1–2 и 3–4, и пунктиром – катушки, образованные сторонами 1–4 и 2–3. Только располагая стороны катушки на расстояние полюсного деления, мы получим э. д. с. катушки в два раза больше э. д. с. отдельной стороны.

При всяком другом расположении сторон (рис. 2–7) в некоторые моменты времени э. д. с. отдельных сторон будут иметь одинаковое направление и э. д. с. катушки будет равна уже не сумме, а разности этих э. д. с. Обычно ширину катушки называют еще шагом катушки и выражают числом пазов, которое нужно прибавить к номеру паза, где лежит первая сторона катушки, чтобы получить номер паза, в котором лежит вторая сторона той же катушки. *В тех случаях, когда ширина катушки равняется полюсному делению τ, говорят, что катушка имеет диаметральный шаг.* Здесь нужно заметить, что термин "диаметральный шаг" в буквальном смысле применим только для двухполюсных машин, когда стороны катушки действительно лежат по диаметру статора. Но в теории обмоток этот термин сохраняют и для многополюсных машин, подразумевая, что ширина катушки равняется ширине полюсного деления. Рассмотрим теперь, как будет вести себя катушка с диаметральным шагом в несинусоидальном магнитном поле.

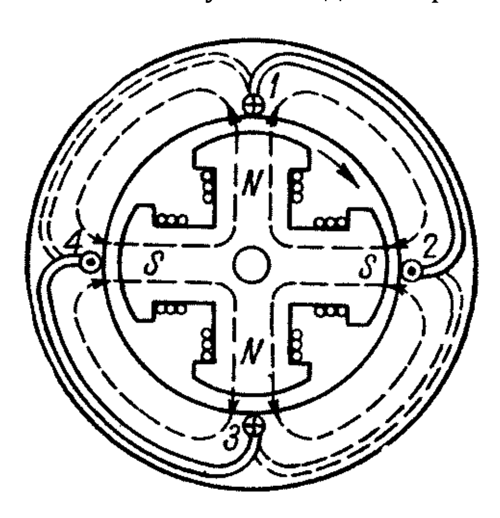


Рис. 2–6. Катушка обмотки статора четырехполюсной машины.

Возьмем наиболее характерную кривую поля, которая изображена на рис. 2–3 (кривая *C*). Исходя из нее, получим, что в каждой стороне катушки будет индуктироваться э. д. с, не синусоидально изменяющаяся во времени. Так как кривые полюсов одинаковы по форме, то при диаметральном шаге катушки ее стороны всегда будут находиться в месте, где по величине магнитные индукции будут одинаковы. Поэтому э. д. с. катушки будет изменяться во времени также не синусоидально и равна сумме э. д. с. ее сторон. Таким образом, *при диаметральном шаге катушки ее э. д. с. всегда в два раза больше э. д. с. одной стороны и изменяется во времени по кривой, которая по своему виду одинакова с кривой распределения поля.*

г. Э. д. с. катушечной группы.

В двухполюсной машине необходимое число витков можно было бы получить от одной катушки, в четырехполюсной – от двух катушек, расположенных друг от друга на расстоянии двух полюсных шагов. В машине с $2p$ полюсами необходимое число витков можно осуществить в виде р катушек. На практике наматывают $2p$, $3p$, $4p$ и $5p$ и т. д. катушек и тем самым уменьшают число витков в катушках в 2, 3, 4, 5 и т. д. раз.

Это объясняется тем, что если бы мы намотали только p катушек, то число витков в них оказалось бы очень большим. Пазы статора получили бы такие размеры, что потребовалось бы увеличить габариты машины. Кроме того, объем тока в пазу (произведение тока на число активных проводников в пазу) стал бы настолько большим, что обмотка могла бы перегреться. Если же каждую из p катушек разбить на несколько катушек с меньшим числом витков и поместить их рядом друг с другом в соседних пазах, то как в отношении габаритов машины, так и в отношении нагрева обмотки положение значительно улучшится.

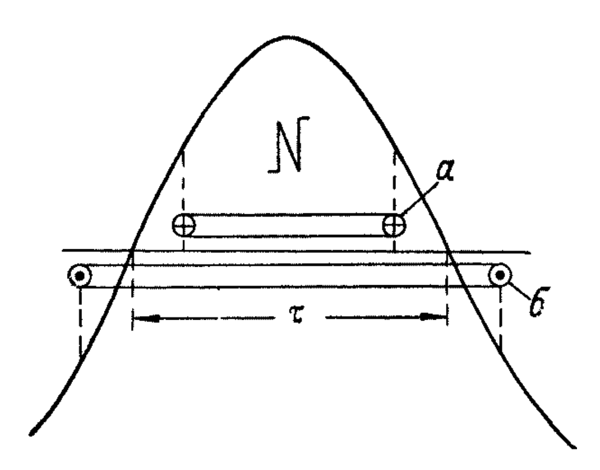


Рис. 2–7. Э. д. с. сторон катушки при укороченном (*а*) и удлиненном (*б*) шаге.

На рис. 2–8 показано выполнение обмотки четырехполюсной машины в виде *p* групп катушек, причем на рис. 2–8, *а* группа состоит из одной катушки, а на рис. 2–8, *б* – из трех катушек. В дальнейшем такие группы катушек будем называть катушечными группами. С другой стороны, с увеличением числа катушек обмотки увеличивается стоимость обмоточных штамповочных работ и количество наиболее дорогого материала – изоляции, что приводит к удорожанию машины. Таким образом, с одной стороны, желательно увеличивать число катушек, а с другой – уменьшать. Отсюда выбор числа катушек является сложным вопросом, требующим учета многочисленных обстоятельств, что и входит в непосредственную задачу проектирования машины. Для нас важно знать, что на каждую пару полюсов и на каждую фазу берут несколько катушек. Здесь нужно отметить, что существуют обмотки (о них будет сказано ниже), в которых число катушек под различными парами полюсов берется неодинаковым, а также обмотки, в которых не все катушки катушечной группы располагаются в соседних пазах.

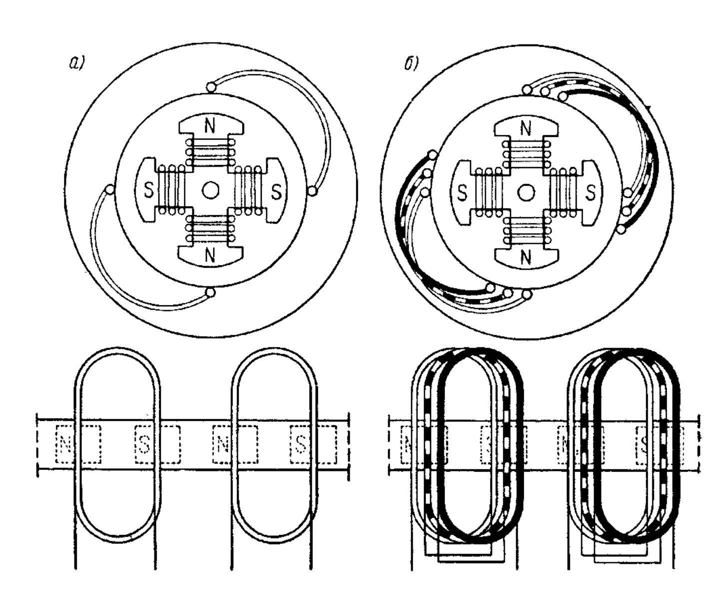


Рис. 2–8. Катушечные группы четырехполюсной машины.

Как правило, все катушки катушечной группы стараются соединять последовательно, причем так, чтобы результирующая э. д. с. была наибольшей. На рис. 2–9 показана катушечная группа, состоящая из трех катушек с диаметральным шагом. Обозначим левые стороны катушек через $Н_1$, $Н_2$, $Н_3$, а правые стороны – через $К_1$, $К_2$ и $К_3$. Так как стороны $Н_1$, $Н_2$ и $Н_3$ расположены друг к другу ближе, чем стороны, например $Н_1$ и $К_1$ или $Н_2$ и $К_2$, то э. д. с. сторон $Н_1$, $Н_2$ и $Н_3$ большую часть периода будут иметь одинаковое направление. То же самое можно сказать и относительно э. д. с. сторон $К_1$, $К_2$ и $К_3$. Поэтому, если какую–либо сторону, например $Н_1$, принять в электрическом отношении за начало, то стороны $Н_2$ и $Н_3$ также будут началами, а стороны $К_1$, $К_2$ и $К_3$ концами. Вследствие этого при последовательном соединении катушек нужно конец первой катушки соединить с началом второй, конец второй с началом третьей и т. д. Предположим, что мы сторону *а* одной катушки (рис. 2–10) заменили *q* сторонами *q* катушек, причем все эти стороны легли в пазы, заключенные на участке статора 1–2. Тогда для замены остальных сторон *б*, *в* и *г* мы должны взять по *q* сторон и расположить их в пазах, занимающих участки статора 3–4, 5–6 и 7–8.

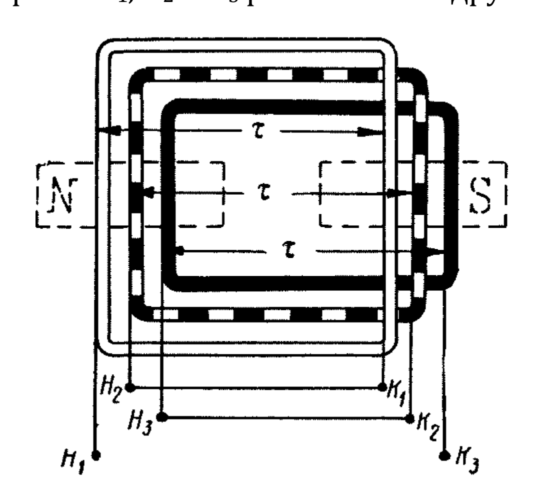


Рис. 2–9. Последовательное соединение катушек катушечной группы.

При этом расстояние 1–3, 1–7, а также 3–5 и 5–7 должно равняться полюсному делению τ, а ширина каждого из участков 3–4, 5–6 и 7–8 должна быть равна ширине участка 1–2. При таком расположении сторон катушек они будут находиться в одинаковых магнитных условиях, и результирующая э. д. с. будет наибольшей. При образовании катушечной группы можно любую сторону катушек на участке 1–2 соединить с любой стороной катушек участка 3–4 или 7–8. Часть сторон катушек участка 1–2 можно соединить с частью сторон катушек участка 3–4, а оставшуюся часть – со сторонами катушек 7–8. *Участки статора, на которых располагаются стороны катушечных групп одной фазы, носят название фазных зон или фазных участков.* Предположим, что катушку (рис. 2–11) со сторонами *а* и *б* нужно заменить четырьмя катушками. Вначале возьмем катушки со сторонами, лежащими на фазных участках 1–2 и 3–4. Левые стороны катушек обозначим через 1', 2', 3', 4', а правые через 1", 2", 3" и 4". Расстояние между сторонами этих катушек возьмем равным полюсному шагу τ. Обозначим число активных витков в катушке *а*–*б* через *w*. Число активных проводников в каждой стороне катушки будет также равно *w*. Предположим, что в рассматриваемый момент времени стороны катушки *а* и *б* находятся в точках, где индукции $B_{\text{макс}}$ и $B'_{\text{макс}}$ максимальны. Тогда э. д. с. катушки:

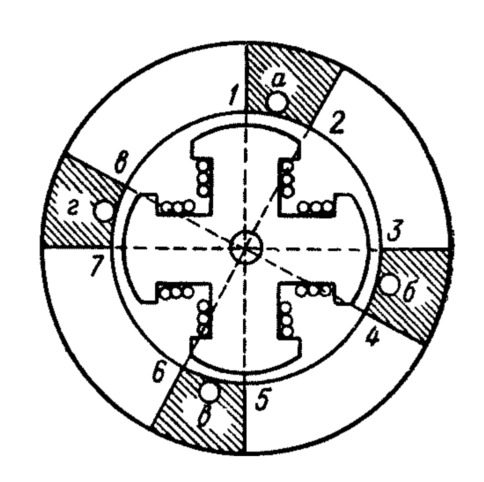


Рис. 2–10. Образование катушечных групп одной фазы.

$$E\text{макс} = B\text{макс} \times w \times l \times v \times 10^{-8} + B\text{макс} \times w \times l \times v \times 10^{-8} \text{ в}$$

При замене катушки *а* и *б* катушечной группой согласно рис. 2–11, возьмем число витков в катушках 1'–1", 2'–2", 3'–3" и 4'–4" по $w/4$. Тогда э. д. с. катушек 1, 2, 3 и 4 будут:

$$e_1 = B \times \frac{w}{4} \times l \times v 10^{-8} + B_1 \times \frac{w}{4} \times l \times v \times 10^{-8} = (B_1 + B_1') \times \frac{w}{4} \times l \times v \times 10^{-8}$$

$$e_2 = (B_2 + B_2') \times \frac{w}{4} \times l \times v \times 10^{-8} \text{ в}$$

$$e_3 = (B_3 + B_3') \times \frac{w}{4} \times l \times v \times 10^{-8} \text{ в}$$

$$e_4 = (B_4 + B_4') \times \frac{w}{4} \times l \times v \times 10^{-8} \text{ в}$$

Э. д. с. катушечной группы, очевидно, будет равна сумме э. д. с. всех четырех катушек:

$$e_{\text{КАТГР}} = e_1 + e_2 + e_3 + e_4 = (B_1 + B_1' + B_2 + B_2' + B_3 + B_3' + B_4 + B_4') \times \frac{w}{4} \times l \times v \times 10^{-8} \text{ в}$$

или

$$e_{\text{КАТГР}} = (B_1 + B_2 + B_3 + B_4) \times \frac{w}{4} \times l \times v \times 10^{-8} + (B_1' + B_2' + B_3' + B_4') \times \frac{w}{4} \times l \times v \times 10^{-8}$$

в то время как э. д. с. катушки *а* – *б* была:

$$E\text{макс} = B\text{макс} \times w \times l \times v \times 10^{-8} + B'\text{макс} \times w \times l \times v \times 10^{-8} \text{ в}$$

Сопоставляя найдем, что э. д. с. катушечной группы будет меньше э. д. с. одной катушки с тем же числом витков.

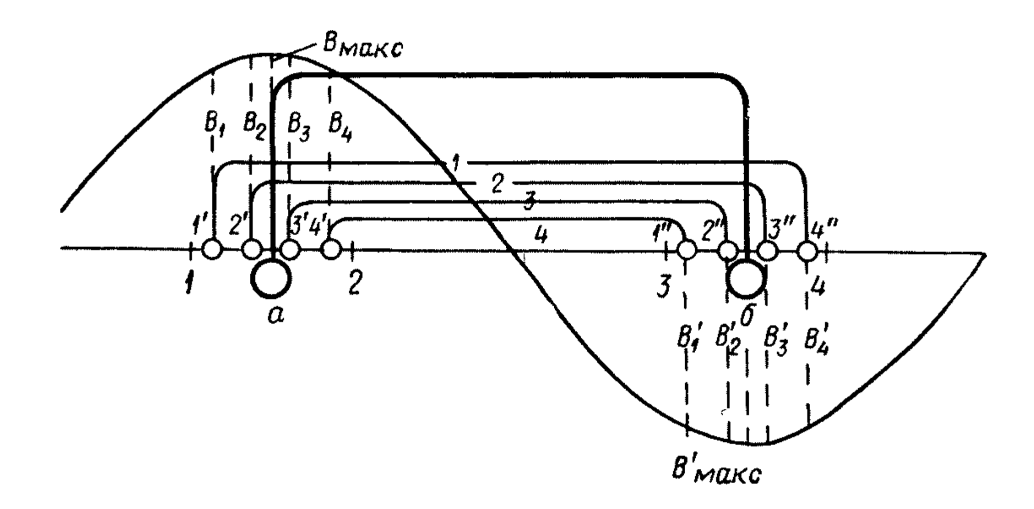


Рис. 2–12. Образование катушечной группы.

В самом деле (см. рис. 2–11):

$$\frac{B_1 + B_2 + B_3 + B_4}{4} > B\text{макс} \qquad \frac{B_1' + B_2' + B_3' + B_4'}{4} > B'\text{макс}$$

так как магнитная индукция для каждой из сторон катушек катушечной группы будет меньше Bмакс и B'макс. Отношение э. д. с. катушечной группы к э. д. с. одной катушки с тем же числом витков называется обмоточным коэффициентом распределения – он всегда меньше единицы. На рис. 2–12 та же катушка a–$б$ заменена четырьмя катушками, причем катушка 1 образована из сторон 1' и 4", катушка 2 из сторон 2' и 3", катушка 3 из строи 3' и 2" и катушка 4 из сторон 4' и 2". В этом случае катушки имеют различную ширину, отличную от полюсного шага. Число витков в каждой катушке возьмем равным $w/4$. Тогда э. д. с. катушек будет:

$$\text{e}_1 = B_1 \times \frac{w}{4} \times l \times v \times 10^{-8} + B_4' \times \frac{w}{4} \times l \times v \times 10^{-8} = (B_1 + B_4') \times \frac{w}{4} \times l \times v \times 10^{-8}$$

$$e_2 = (B_2 + B_2') \times \frac{w}{4} \times l \times v \times 10^{-8} \text{ в}$$

$$e_3 = (B_3 + B_3') \times \frac{w}{4} \times l \times v \times 10^{-8} \text{ в}$$

$$e_4 = (B_4 + B_4') \times \frac{w}{4} \times l \times v \times 10^{-8} \text{ в}$$

Э. д. с. катушечной группы:

$$e_{\text{КАТГР}} = e_1 + e_2 + e_3 + e_4 = B_1 + B_1' + B_2 + B_2' + B_3 + B_3' + B_4 + B_4' = \frac{w}{4} \times l \times v \times 10^{-8}$$

Сопоставляя этот результат с предыдущим, получаем, что э. д. с. катушечной группы не зависит от формы выполнения лобовых частей катушек. Действительно, э. д. с. индуктируется только в активной части катушки, лобовые же части только для соединения активных частей. Так как расположение активных частей 1', 2", 2', 2", 3', 3" и 4', 4" оставалось неизменным, то не изменялись и э. д. с., индуктирующиеся в них. Любую левую сторону 1', 2', 3' или 4' мы можем соединить с любой правой стороной 2", 2", 3" и 4" и образовать из них катушку. Развернем на плоскость статор (см. рис. 2–10). Будем считать магнитный поток распределенным синусоидально (рис. 2–13). Так как расстояние между фазными участками обмотки 2–2, 3–4, 5–6 и 7–8 равно полюсному шагу, и магнитный поток полюсов распределяется по кривым одинакового вида, магнитные индукции в точках расположения 5, 6, 7, 8 и в точках 25, 14, 15, 16 будут соответственно равны.

Так как это равенство справедливо для любого момента времени, то будут равны в каждый момент времени э. д. с. этих сторон. Тогда катушку а – б мы можем заменить четырьмя катушками; катушкой 2 со сторонами 2 и 16, катушкой 2 со сторонами 2 и 15, катушкой 3 со сторонами 3 и 6 и катушкой 4 со сторонами 4 и 5. Точно так же катушку *в – г* можно заменить катушками 5, 6, 7 и 8 со сторонами соответственно 8 и 9, 7 и 10, 11 и 24, 12 и 13. Таким образом, при образовании катушек мы можем их стороны брать на разных фазных зонах, следя лишь за тем, чтобы сумма магнитных индукций в точках расположения сторон была равна сумме индукций при расположении сторон на одном фазном участке. В нашем случае (рис. 2–13) должно иметь место равенство:

$$B_5 + B_6 + B_{15} + B_{16} = B_1 + B_2 + B_3 + B_4$$

Выше мы выяснили, что совмещение витков фазной зоны в одной ($q = 1$), а в нескольких катушках ($q > 1$), приводит уменьшению э. д. с, вследствие чего для компенсации этого уменьшения необходимо увеличивать число витков, а тем самым и расход меди на изготовление обмотки. Рассмотрим теперь образование катушечных групп в случае симметричного, но не синусоидального распределения магнитной индукции (рис. 2–14).

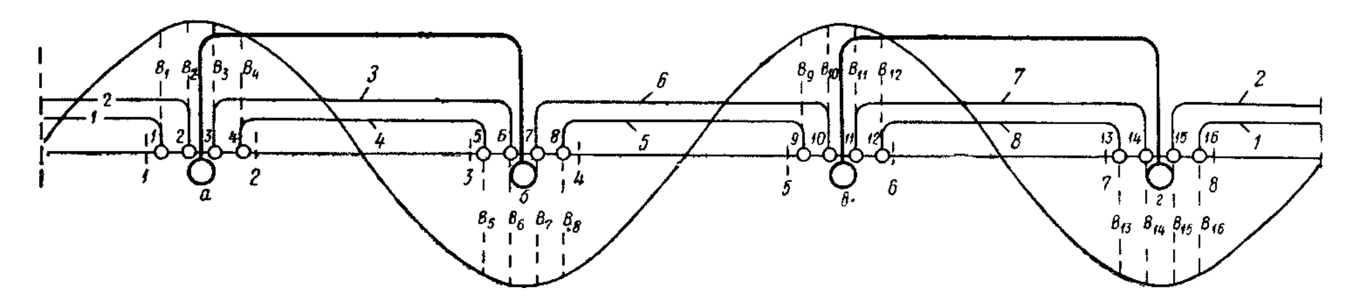


Рис. 2–13. Образование катушечных групп.

Предположим, что магнитная индукция распределяется по кривой 1. Для упрощения заменим кривую магнитного поля 1 двумя синусоидальными кривыми 2, и 3. Кривая 2 представляет собой распределение индукции главного поля и является основной синусоидой, основание которой равно полюсному шагу τ. Основание кривой 3 в пять раз меньше полюсного шага τ. Синусоида 3 является кривой распределения высшей гармоники магнитного поля. Результирующее действие этих полей (2 и 3) в отношении индуктирования э. д. с. одинаково с действием поля 1. Влияние главного магнитного поля на э. д. с. катушечной группы мы рассмотрели выше, что же касается влияния высших гармоник поля, то из рис. 2–14 видно, что в зависимости от соотношения между шириной фазного участка и полюсным шагом высшей гармоники (кривая 3) стороны катушек одного фазного участка могут всегда попадать под различную полярность гармоники поля. Это приводит к тому, что в сторонах катушки высшая гармоника будет индуктировать э. д. с. различного направления и результирующая э. д. с. станет небольшой. Так, например, для рассматриваемого момента времени э. д. с. в крайних сторонах 1 и 4 катушечной группы имеет противоположное направление по сравнению с э. д. с. в средних ее сторонах 2 и 3.

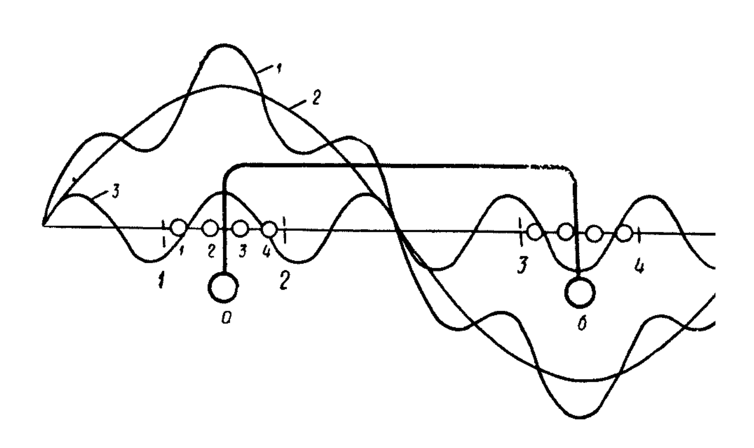


Рис. 2–14. Образование катушечной группы.

При смещении поля, например вправо, стороны 1 и 2 могут попасть под магнитный поток одной полярности, а стороны 3 и 4 под поток другой полярности, вследствие чего э. д. с. сторон 1 и 2, будут противоположны по направлению э. д. с. сторон 3 и 4. Таким образом, и в этом положении потока результирующая э. д. с. всех сторон катушечной группы от поля высшей гармоники будет небольшой. Поэтому во всех случаях, когда полюсный шаг высшей гармоники меньше ширины фазного участка, мы получаем особенно сильное уменьшение э. д. с, индуктируемой этой гармоникой магнитного потока, что улучшает кривую э. д. с. и является достоинством обмотки.
Обычно ширина фазной зоны составляет ⅓ полюсного шага основной гармоники τ, поэтому влияние высших гармоник 5, 7 и. т. д. на э. д. с. катушечной группы сильно ослабляется. Действие гармоники 3, шаг которой равен ⅓ τ, т. е. ширине фазной зоны, также будет ослаблено. Таким образом, увеличение числа катушек в катушечной группе делает э. д. с. более синусоидальной и является одним из способов улучшения формы кривой э. д. с. машины.

д. Соединение катушечных групп.
Образование параллельных ветвей статорных обмоток синхронных машин.

В ходе расчета обмоток часто оказывается необходимым образование того или иного числа параллельных ветвей. Так, например, если при данной мощности и напряжении машины ток обмотки получается большой, проводники катушек оказываются большого поперечного сечения, и при этом возникают затруднения при изготовлении обмоток. Беря то или иное число параллельных ветвей, мы можем уменьшить ток катушек до более подходящей величины. Может также оказаться, что при наиболее подходящих числе пазов и величине магнитного потока число проводников в пазу получается неудобным и невыполнимым. Пусть, например, число проводников в пазу по расчету оказалось равным 1⅓. Естественно, что обмотку с таким числом проводников в пазу выполнить нельзя. Если взять по одному проводнику в пазу, то этим мы уменьшим общее число витков обмотки. В таком случае для получения определенной э. д. с. необходимо повысить величину магнитного потока. Если же оставить величину потока без изменения, то э. д. с. машины уменьшится. Этого можно избежать, взяв 3 параллельные ветви и по 4 проводника в пазу. При образовании параллельных ветвей необходимо следить за тем, чтобы э. д. с. ветвей были равны по величине и направлению в каждый момент времени и чтобы активное и индуктивное сопротивления ветвей также были равны. Только при соблюдении этих условий напряжение параллельных ветвей будет одинаковым и по обмотке не будет проходить уравнительный ток. Вполне очевидно, что э. д. с. ветвей будут равны по величине и направлению только в том случае, если число витков будет одинаковым и стороны катушек ветвей будут находиться в магнитном поле в абсолютно одинаковых условиях. Для равенства сопротивления ветвей лобовые части катушек должны быть одинаковыми. Кроме того, при выполнении параллельных ветвей необходимо иметь в виду, что при эксплуатации машины часто нарушается равенство магнитных сопротивлений потоков полюсов. Допустим, что вследствие износа вкладышей воздушный зазор между статором и ротором оказался не одинаковым – вверху зазор стал больше, чем внизу, тогда магнитный поток полюса, находящегося в верхнем положении, будет встречать большое сопротивление, и поэтому он будет меньше потока полюса, находящегося в этот момент в нижнем положении. Если мы одну параллельную ветвь образуем из катушечных групп, лежащих вверху, а другую – из лежащих внизу, то э. д. с. ветвей будет неодинаковой. Внутри обмотки под влиянием разности э. д. с. ветвей начнут циркулировать уравнительные токи, которые выравнивают потоки полюсов, но будут нагревать обмотку и уменьшать коэффициент полезного действия машины. Исходя из этого, рекомендуется в синхронных машинах параллельные ветви образовывать из катушечных групп, равномерно распределенных по статору.

В крупных машинах для уменьшения магнитного одностороннего притяжения параллельные ветви следует создавать из соседних катушечных групп. Рассмотрим образование параллельных ветвей одной фазы обмотки четырехполюсной синхронной машины, считая магнитный поток полюсов ротора одинаковым по величине и характеру распределения магнитной индукции. Так как на каждую пару полюсов приходится по одной катушечной группе, то рассматриваемая обмотка будет иметь две катушечные группы, которые отстоят друг от друга на 2τ и по способу соединения сторон катушек одинаковы. Э. д. с. этих катушечных групп равны друг другу по величине и по фазе (см. рис. 2–8).

При последовательном соединении их получим одну ветвь (a = 1), при параллельном – две ветви (a = 2). Если лобовые части катушек одинаковы по своему выполнению и длине, то активное и индуктивное сопротивления катушечных групп будут равны, и в этих случаях катушечные группы можно соединить между собой параллельно и получить две параллельные ветви. В тех случаях, когда лобовые части катушек двух катушечных групп выполнены различно, при параллельном соединении катушечных групп в обмотке будет циркулировать уравнительный ток. Чем больше отличаются сопротивления катушечных групп, тем больше уравнительный ток. Таким образом, в однослойной обмотке с р катушечными группами в каждой фазе (не учитывая уравнительных токов) всегда можно получить $a = p$ параллельных ветвей, для чего все катушечные группы фазы надо соединить параллельно, а катушки в катушечной группе – последовательно. На рис. 2–15 в виде примера изображена схема одной фазы обмотки шестиполюсной синхронной машины с $a = p$, причем на рис. 2–15, *а* дана схема с катушками одинаковой ширины, а на рис. 2–15, *б* – с катушками разной ширины. В этой обмотке катушки в катушечных группах соединены последовательно, а катушечные группы параллельно; все начала ($Н_1$, $Н_2$ и $Н_3$) соединены вместе и образуют начало фазы Н, а все концы ($К_1$, $К_2$ и $К_3$) также соединены вместе и образуют конец фазы К. Но в некоторых случаях необходимо иметь число параллельных ветвей a больше числа пар полюсов p например $a = 2p$. Тогда, очевидно, нужно катушки катушечных групп соединить между собой не последовательно, а в две параллельные ветви. Рассмотрим эту возможность увеличения числа параллельных ветвей, задаваясь различным числом катушек в группе. Предположим, что катушечная группа имеет две катушки (рис.2–16, *а*). Обозначим э. д. с, которые индуктируются в сторонах *а*, *б*, *в* и *г*, через $e_а$, $e_б$, $e_в$ и $e_г$. Тогда: $e_а = -e_в$; $e_б = -e_г$, так как расстояние между сторонами *б* и *г*, а также между сторонами *а* и *в* равно полюсному шагу и стороны *в* и *г* находятся в поле другой полярности, чем стороны *а* и *б*. Э. д. с. $e_в$ и $e_г$ по фазе соответственно противоположны э. д. с. $e_а$ и $e_б$, что отмечено знаком минус. Результирующая э. д. с. катушек 1 и 2 при согласном соединении сторон соответственно равна: $e_1 = e_а + e_г$; $e_2 = e_б + e_в$.

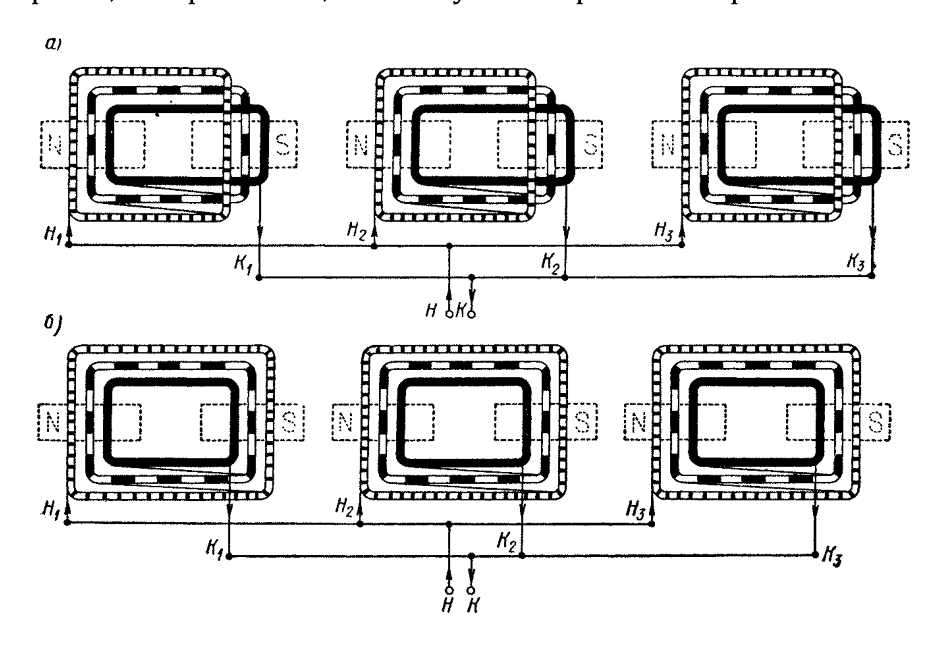


Рис. 2–15. Схема соединения катушечных групп одной фазы обмотки при $a = p$.

Учитывая предыдущие равенства, получим: $e_1 = e_2$. Аналогично этому: $e_3 = e_4$. Таким образом, э. д. с. всех катушек оказываются равными, т. е. $e_1 = e_2 = e_3 = e_4$. Итак, мы можем получить $a = 2$, соединяя катушки в катушечной группе последовательно, $a = 4$ (рис 2–16, *б*), соединяя все катушки параллельно; при этом нужно иметь в виду, что при $a = 4$ сопротивления катушек 1 и 3 больше, чем катушек 2 и 4 (рис 2–16, *а*), что является причиной возникновения уравнительных токов.

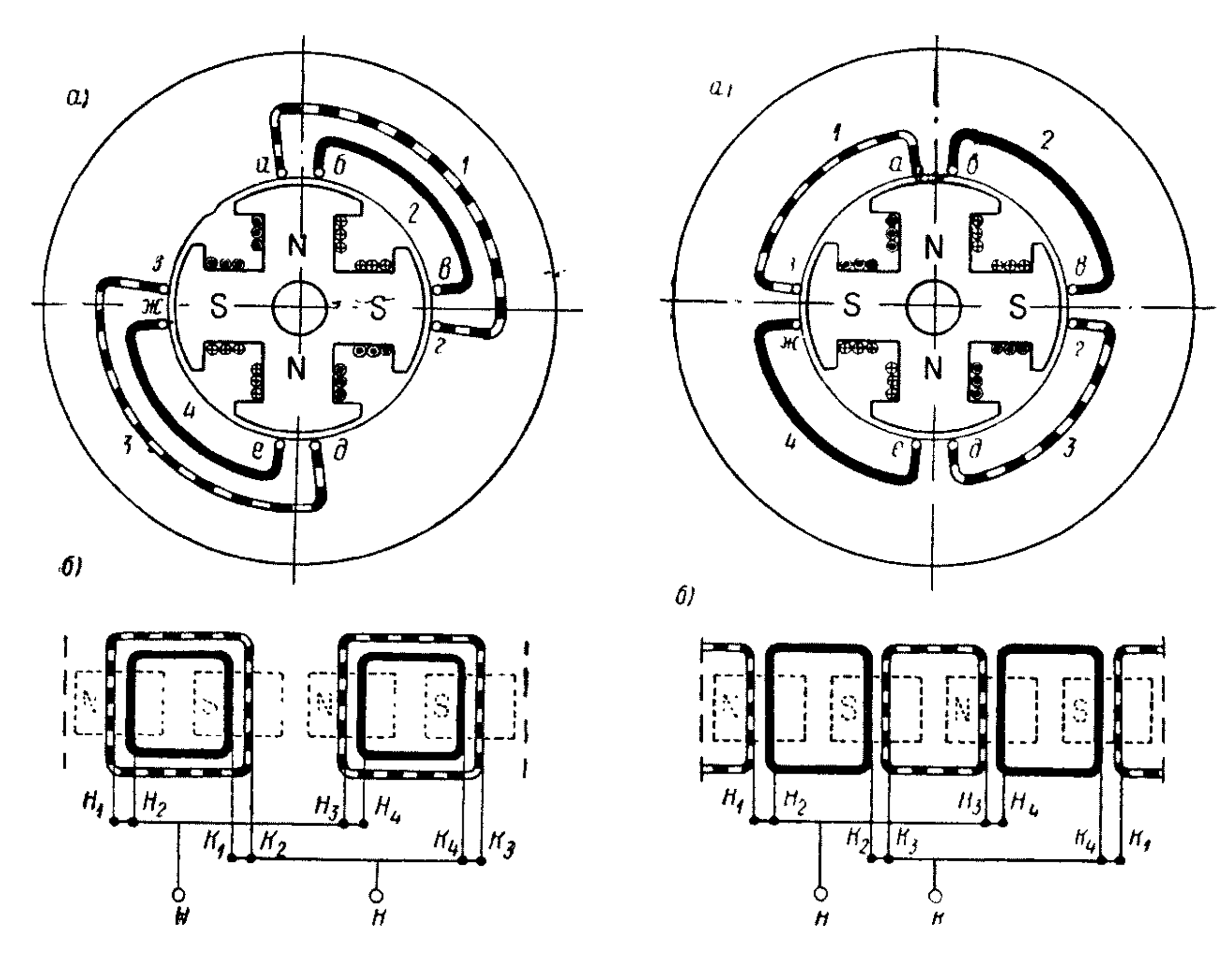


Рис. 2–16. Образование параллельных ветвей при $a = p$.

Рис. 2–17. Образование параллельных ветвей при $a = 2p$.

Следовательно, соединения для получения $a = 4$ следует по возможности избегать. Так как катушечные стороны *в*, *ж*, *г* и *з* находятся между собой на расстоянии 2τ, то $e_в = e_ж$; $e_г = e_з$, и мы можем обмотку выполнить по рис 2–17, *а*. В этом случае катушки фазы получаются совершенно одинаковыми, и так как $e_1 = e_2 = e_3 = e_4$ то обмотка позволяет получить $a = 4$ (рис 2–17, *б*).

Предположим теперь, что катушечные группы имеют по три катушки (рис. 2–18, а). В этом случае катушка 2 имеет диаметральный шаг, и поэтому ее э. д. с. больше, чем э. д. с. катушек 1 и 3, у которых шаг не диаметральный и использование магнитного потока полюса ротора хуже. Таким образом, эта обмотка позволяет получить только $a = 2$ (рис. 2–18, б). Если катушечная группа имеет четыре катушки, то, согласно рис. 2–19, *а*, э. д. с. катушки 1 равна э. д. с. катушки 4, а э. д. с. катушки 2 э. д. с, катушки 3. Поэтому, соединяя катушки каждой группы в две параллельные ветви, например, соединяя последовательно в одну ветвь катушки 1, 2, а в другую 3, 4 (рис. 2–19, б), мы получим $a = 2p = 4$. Так как: $e_а = e_л$, $e_б = e_м$, $e_ж = e_к$, $e_з = e_и$, то можно сторону *а* соединить со стороной *и* вместо стороны *з*, сторону *б* соединить со стороной к вместо стороны *ж*, а стороны *ж* и *з* соединить соответственно со сторонами *м* и *л* (рис. 2–20). Как и в предыдущем случае, обмотка позволяет получить $a = 2p = 4$.

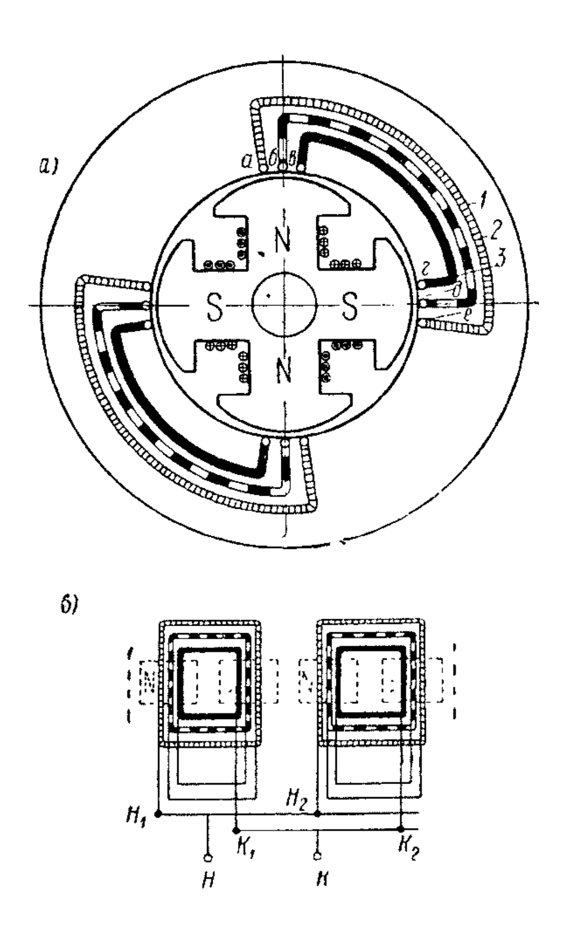


Рис. 2–18. Образование параллельных ветвей однослойной обмотки при трех катушках в катушечной группе.

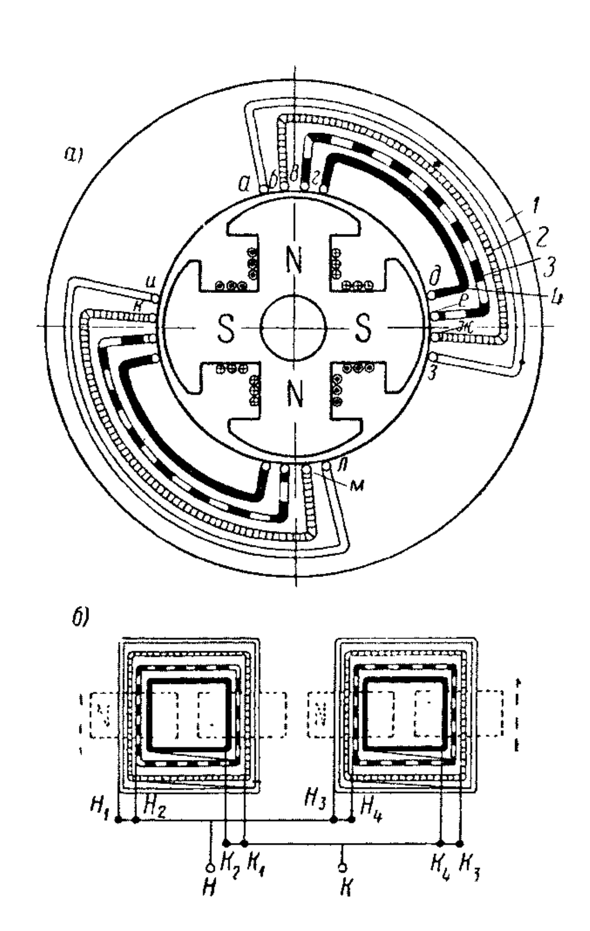


Рис. 2–19. Образование параллельных ветвей однослойной обмотки при четырех катушках в катушечной группе.

е. Разбивка катушечных групп по фазам.

Выше мы рассмотрели образование обмотки одной фазы – соединили между собой все катушечные группы, отстоящие друг от друга на двойной полюсный шаг. Очевидно, что то же самое мы должны проделать и для двух других фаз, т. е. намотать такое же число катушек, с тем же числом витков, образовать столько же катушечных групп и так же соединить их между собой. В этом случае э. д. с. всех фаз будут одинаковы по величине. Но к трехфазной обмотке, кроме равенства э. д. с, предъявляется еще одно требование: э. д. с. второй фазы должна быть сдвинута на 120 эл. градусов, а э. д. с. третьей фазы – на 240 эл. градусов по отношению к э. д. с. первой фазы (рис. 2–21). В этом случае э. д. с. всех фаз будут одинаковы по величине. Но к трехфазной обмотке, кроме равенства э. д. с, предъявляется еще одно требование: э. д. с. второй фазы должна быть сдвинута на 120 эл. градусов, а э. д. с. третьей фазы – на 240 эл. градусов по отношению к э. д. с. первой фазы (рис. 2–21).

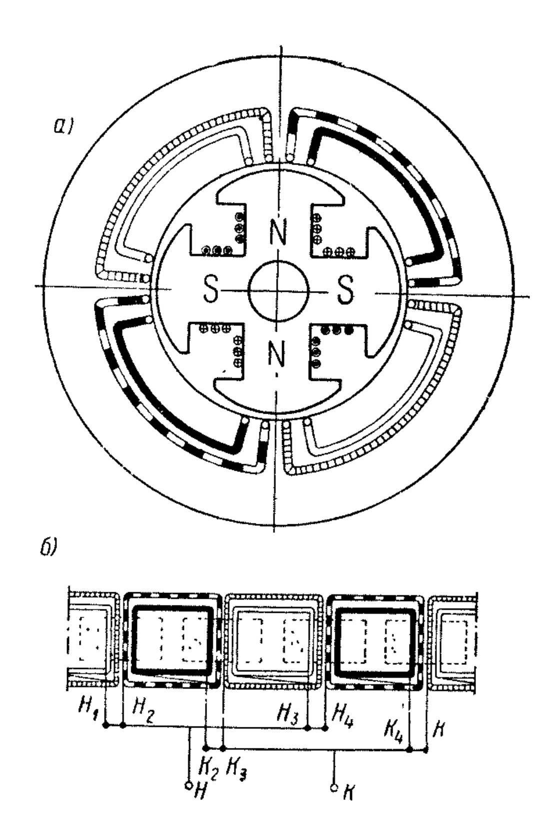


Рис. 2–20. Другой способ образования параллельных ветвей обмотки рис. 2–19.

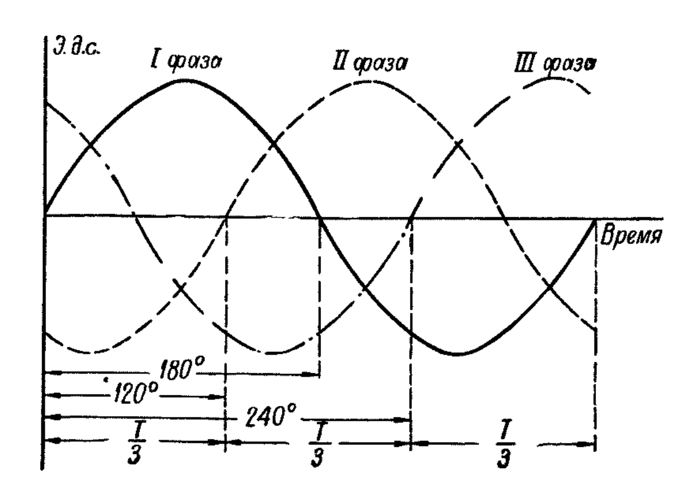


Рис. 2–21. Сдвиг по времени фазных э. д. с.

Так как продолжительность T одного периода соответствует 360 эл. градусам, то 120 эл. градусов соответствует ⅓. T, а 240 эл. градусов – ⅔. T. С другой стороны, за время одного периода ротор перемещается на двойное полюсное деление 2τ, поэтому катушечные группы второй фазы следует сместить на ⅓ × 2τ = ⅔τ, а катушечные группы третьей фазы – соответственно на ⅔ × 2τ = $^4/_3\tau$ по отношению к катушечным группам первой фазы. Выше мы выяснили, что на каждую пару полюсов и фазу приходится по одной катушечной группе. Исходя из этого, получим, что каждое двойное полюсное деление 2τ мы должны разбить на шесть равных участков, на которых будут размещены стороны катушечных групп. Так как каждой паре полюсов соответствует 360 эл. градусов, то каждому участку будет соответствовать 60 эл. градусов. Эти участки, как мы выше упомянули, называют фазными зонами или фазными участками, указывая тем самым, что на каждом из них стороны катушек принадлежат только одной фазе.

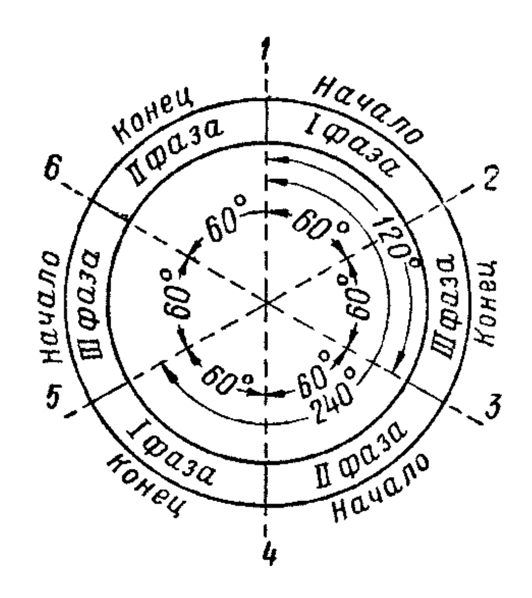


Рис. 2–22. Расположение фазных зон двухполюсный машины.

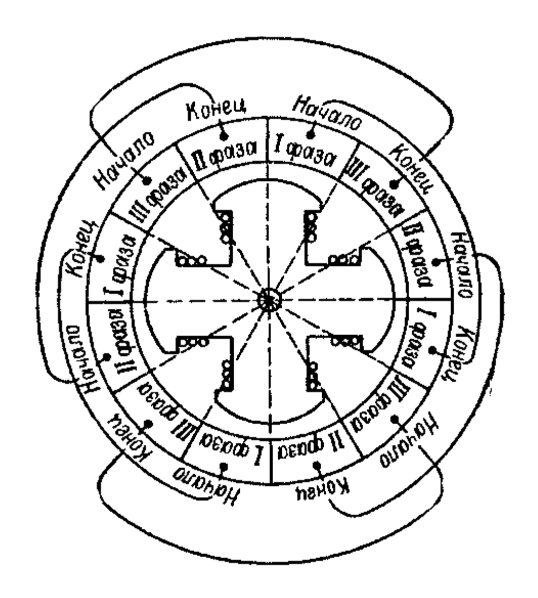


Рис. 2–23. Расположение фазных зон четырехполюсной машине

Пусть участок 1–2 (рис. 2–22) двухполюсной машины принадлежит первой фазе и катушки имеют диаметральный шаг. Тогда, перемещаясь по обмотке на расстояние полюсного шага τ от фазного участка 1–2, дойдем до участка 4–5, на котором будут лежать вторые стороны катушек первой фазы. Перемещаясь по обмотке на ⅔τ, дойдем до участка 3–4, на котором будут лежать первые стороны катушечной группы второй фазы. Вторые стороны этой катушечной группы будут находиться на участке 6–1, который сдвинут от участка 3–4 на полюсный шаг τ. Перемещаясь по обмотке на $^4/_3\tau$, дойдем до участка 5–6, на котором будут лежать первые стороны катушечной группы третьей фазы. Вторые стороны катушки будут находиться на участке 2–3 и сдвинуты от участка 5–6 на τ. Таким образом, первые стороны или начала катушечных групп лежат:

для фазы I на участке 1–2, для фазы II на участке 3–4, для фазы III на участке 5–6

Вторые стороны или концы катушечных групп лежат:

для фазы I на участке 4–5, для фазы II на участке 6–1, для фазы III на участке 2–3

Сдвиг, как между началами, так и между концами катушечных групп разных фаз равен ⅔ τ и $^4/_3$ τ.
В порядке последовательности фазные зоны чередуются следующим образом: начало фазы 1, конец фазы III, начало фазы II, конец фазы 1, начало фазы III и конец фазы II. Такая последовательность справедлива для всех трехфазных обмоток. На рис. 2–23 изображены фазные зоны четырехполюсного статора. На рис. 2–24 приведена схема трехфазной обмотки восьмиполюсной машины, у которой каждая фаза имеет 4 катушечные группы, содержащие по две катушки. Соединение катушечных групп последовательное. При рассмотрении различных схем обмоток начало и конец каждой фазы будем обозначать так:

фаза I: начало – A, конец–X
фаза II: начало – B, конец –Y
фаза III: начало – C, конец –Z

Отметим, что согласно ГОСТ 183–66, выводы статорных обмоток трехфазных машин в коробке зажимов обозначаются следующим образом:

1. При соединении фаз звездой (3 или 4 вывода):

фаза I – C1, фаза II –C2, фаза III– C3
нулевая точка – О (независимо, заземлена она или нет)

2. При соединении треугольником (3 вывода):

первый зажим – C1 второй зажим – C2 третий зажим – C3

3. При открытой схеме (6 выводов):

фаза I – начало C1, конец C4; фаза II– начало C2, конец C5; фаза III– начало C3, конец C6.

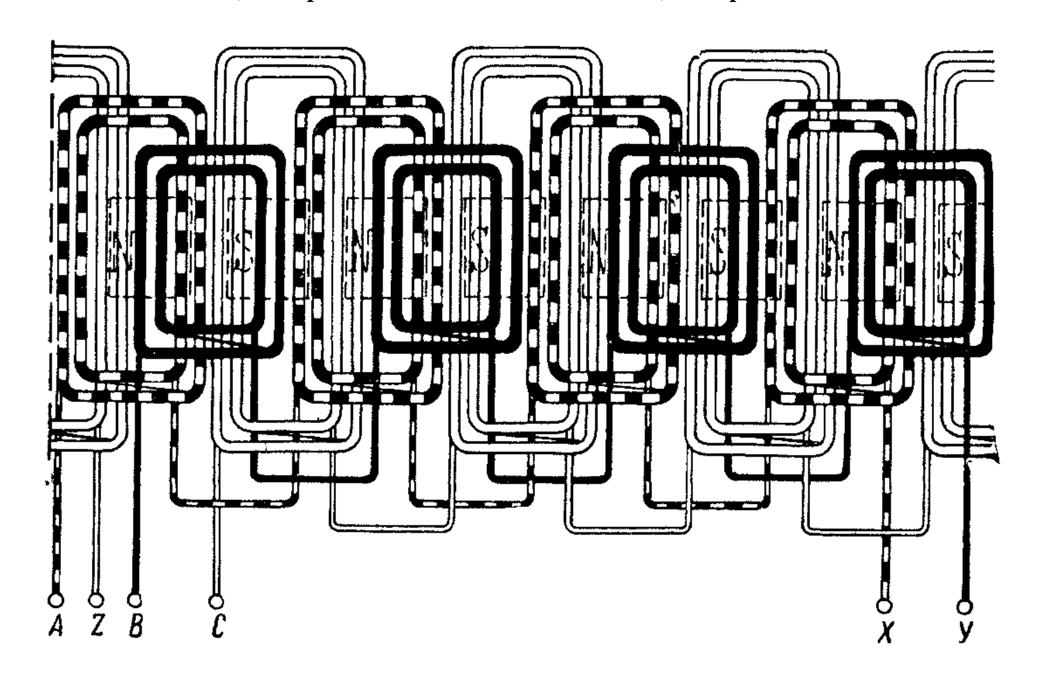


Рис. 2–24. Схема трехфазной обмотки восьмиполюсной машины.

ж. Соединение фаз.

Существуют два способа соединения фаз между собой: звездой и треугольником. При звезде соединяются вместе концы (X, Y, Z), а начала (A, B, C) выводятся к зажимам машины (рис. 2–25). При треугольнике конец первой фазы X соединяется с началом второй фазы B, конец второй фазы Y соединяется с началом третьей фазы C и конец третьей фазы Z соединяется с началом первой фазы A; от точек соединений выводятся провода к зажимам машины (рис. 2–26). Иногда все шесть концов выводят к коробке зажимов, и соответствующее соединение зажимов производят перемычками. Условно соединение звездой обозначают значком Y и соединение треугольником – значком Δ. При выборе того или иного рода соединения предпочтение следует отдавать соединению звездой, так как при нем устраняется влияние третьей гармоники потока (см. рис. 2–3, кривая 3). На рис. 2–27, а изображена основная синусоида 1 и синусоида 2 с шагом $^2/_3\tau$ (третья гармоника), а на рис 2–27, б показано в развернутом виде чередование фазных зон. Принципиальная схема обмотки при условии, что катушечная группа имеет одну катушку, представлена на рис. 2–27, *а*, а на рис. 2–27, *г* и *д* дано сопряжение обмотки звездой и треугольником.

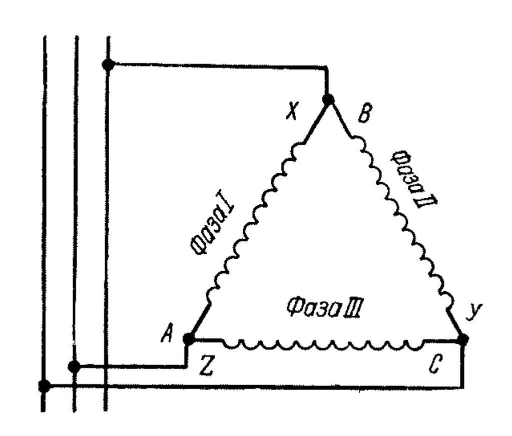


Рис. 2–26. Принципиальная схема обмотки, соединенной треугольником.

Начала катушечных групп всех фаз попадают под северные полюсы *N*, а концы всех фаз – под южные полюсы *S* кривой 2 (рис. 2–27, *а* и *б*). Кроме того, величина магнитной индукции от третьей гармоники в месте нахождения сторон катушек одинакова. Вполне очевидно, что это приводит к тому, что направление э. д. с. третьей гармоники в каждой катушечной группе также будет одинаково. На рис. 2–27 *в*, *г* и *д* направление э. д. с. показано стрелками, идущими от начала к концу катушечной группы. Таким образом, в каждой фазе магнитный поток третьей гармоники (с шагом ⅓τ) индуктирует э. д. с. одной и той же величины и направления. Для определения линейного напряжения, вызванного третьей гармоникой магнитного потока ротора, необходимо вспомнить, что при отсутствии тока линейное напряжение определяется э. д. с, которая является результирующей э. д. с, действующих в обмотке между рассматриваемыми зажимами. Таким образом, линейное напряжение между зажимами C1 и C2 (рис 2–27, *г*) будет определяться результирующей э. д. с. I и II фаз. Идя по обмотке от начала A к началу B, мы проходим фазы I и II, причем э. д. с. третьей гармоники фаз I и II равны и направлены навстречу друг другу. Поэтому э. д. с. от третьей гармоники поля ротора равна нулю, т. е. третья гармоника поля ротора при соединении фаз звездой не искажает линейного напряжения. При соединении же фаз треугольником для э. д. с. третьей гармоники поля образуется замкнутая цепь, в которой будет циркулировать ток тройной частоты, а так как эта цепь является короткозамкнутой, то вся э. д. с. третьей гармоники, действующая в ней, будет уравновешиваться падением напряжения в сопротивлениях цепи.

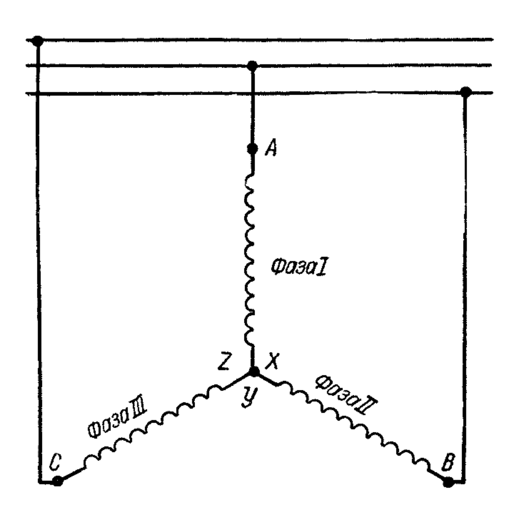


Рис 2–25. Принципиальная схема обмотки, соединенной звездой.

Таким образом, и при соединении фаз треугольником третья гармоника поля ротора также не оказывает влияния на линейное напряжение. Но при этом ток третьей гармоники создает дополнительные потери, нагревающие обмотку и уменьшающие коэффициент полезного действия машины. *Поэтому следует отдавать предпочтение соединению фаз звездой.*

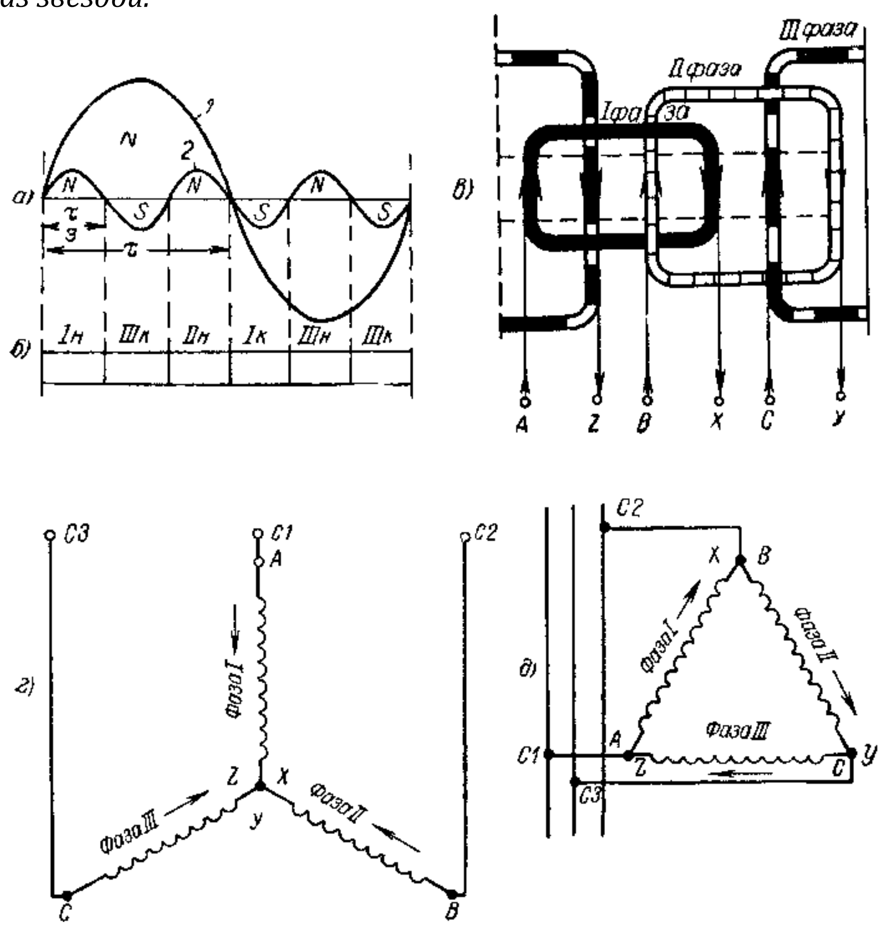


Рис. 2–27. Сопоставление соединения фаз звездой и треугольником.

2–3. Трехфазные однослойные обмотки статоров асинхронных двигателей.

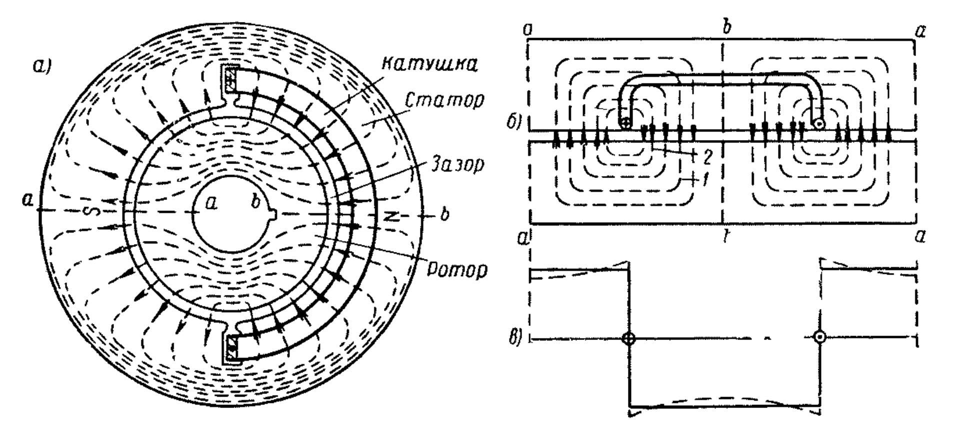


Рис. 2–28. Магнитное поле катушки.

Из теории асинхронных двигателей известно, что трехфазная обмотка статора при питании ее трехфазным током образует вращающееся магнитное поле. Для лучшей работы двигателя это поле должно быть по возможности синусоидальным. Но распределение магнитных линий поля обмотки зависит от распределения магнитодвижущей силы обмотки и магнитного сопротивления. Если, например, взять одну катушку с диаметральным шагом (рис. 2–28, *а* и *б*), то все магнитные линии будут находиться под одним и тем же магнитным напряжением, так как они замыкаются вокруг одного и того же числа ампер–проводников.

Если допустить, что сопротивление магнитной линии определяется сопротивлением только воздушного зазора между статором и ротором, то при равномерном зазоре магнитное сопротивление для всех линий будет одинаковым. Тогда, очевидно, кривая распределения магнитных линий (кривая поля) будет иметь тот же вид, что и кривая распределения магнитодвижущей силы (кривая м. д. с.) (рис. 2–28, *в*). В рассматриваемом случае кривая м. д. с. катушки и кривая поля имеют вид прямоугольника. Если учесть магнитное сопротивление стали, то кривую поля можно изобразить в виде пунктирной кривой (рис. 2–28, *в*). Для того чтобы получить двухполюсные вращающееся магнитное поле, в простейшем случае достаточно взять три катушки, разместить их на расстоянии $\frac{2}{3}\tau$ друг от друга и питать их переменным током, сдвинутым во времени на $\frac{2}{3}T$, т. е. трехфазным током (рис. 2–29). Величину тока катушек можно определить по синусоиде (рис. 2–30, *а*), беря ординаты кривой, сдвинутые по отношению друг к другу на 120 эл. градусов. Развернем статор на плоскость (рис. 2–30, *б*). Возьмем момент времени 1 (рис. 2–30, *а*), когда ток в катушке фазы I имеет максимальное значение, и предположим, что он направлен к нам в левой стороне катушки и от нас в правой стороне катушки. Тогда по синусоиде тока (рис. 2–30, *а*) найдем, что ток в катушке фазы II в этот же момент времени 1 будет иметь противоположное направление и будет в два раза меньше по величине. В левой стороне катушки ток будет направлен от нас, а в правой – к нам. То же самое получим и для тока в катушке фазы III. Построим кривую поля отдельных катушек для трех моментов времени, считая магнитную цепь ненасыщенной и воздушный зазор между статором и ротором равномерным.

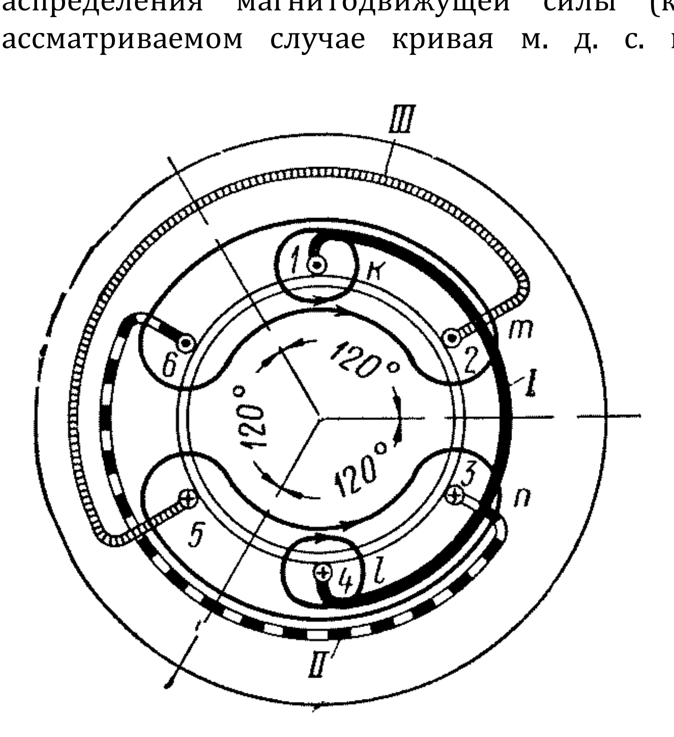


Рис. 2–29. Расположение катушек трех фаз.

На рис. 2–30, *в* изображена кривая поля катушки фазы I, на рис. 2–30, *г* – фазы II и на рис. 2–30, *д* – фазы III в первый момент времени. Так как в этот момент времени токи в фазах II и III одинаковы по величине и направлению, кривые рис. 2–30, *г* и *д* одинаковы и сдвинуты между собой так же, как сдвинуты между собой оси этих катушек. Вследствие того, что ток в фазе I в два раза больше тока фаз II и III, высота прямоугольника кривой поля фазы I в два раза больше высоты прямоугольников кривых полей фаз II и III. Складывая все три кривые, получим кривую результирующего поля рис. 2–30, *е*. В момент времени 2 (рис. 2–30, *а*) ток в фазе 1 несколько уменьшился, сохранив то же направление. В соответствии с этим кривая поля катушки фазы I получится в виде кривой (рис. 2–30, ж), высота прямоугольника уменьшалась пропорционально уменьшению тока. Ток в фазе II, в противоположность току фазы I, несколько увеличился и сделался равным току фазы I.

Направление тока фазы II сохранилось тем же. Высота прямоугольника кривой поля катушки фазы II увеличилась пропорционально увеличению тока (рис. 2–30, з).

Так как в этот момент времени ток фазы III равен нулю, катушка этой фазы не принимает участия в образовании магнитного поля, и кривая результирующего поля получается сложением только двух кривых (рис. 2–30, *ж* и *з*).

Эта кривая изображена на рис. 2–30, *и*. В момент времени 3 (рис. 2–30, *а*) ток в фазе I, продолжая уменьшаться, снизился до значения тока фазы II в момент времени 1.

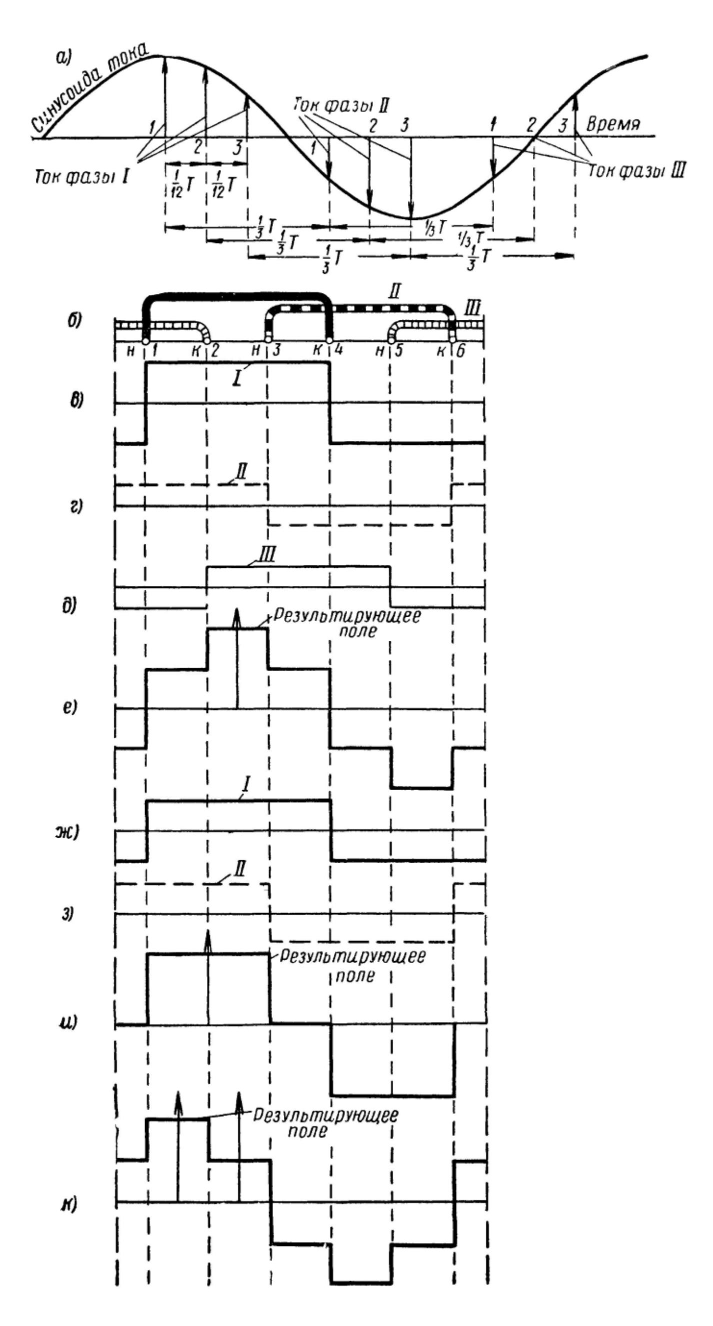


Рис. 2–30. Вращающееся магнитное поле

Ток в фазе II, увеличиваясь, достиг максимального значения, а ток фазы III сделался равным току в момент времени 2, но только изменил направление.

Так как снова во всех фазах ток не равен нулю, результирующее магнитное поле создается всеми катушками и кривую результирующего поля мы получим, складывая кривые полей отдельных фаз. На рис. 2–30, *к* изображена кривая результирующего поля для момента времени 3. Сопоставляя между собой кривые результирующего поля, замечаем, что магнитное поле перемещается по обмотке – положение оси поля одного направления перемещается влево, причем на рис. 2–30, к стрелкой (правой) показано положение оси результирующего поля в первый момент времени: ось поля переместилась на $^1/_6$ двойного полюсного шага за промежуток времени, равный $^1/_6\ T$.

Если задаться еще несколькими моментами времени и таким же путем построить кривые полей, то, очевидно, получим, что за время одного периода T, ось поля переместится на 2τ, т. е. обмотка создает вращающееся магнитное поле. Скорость вращения поля, выраженная числом оборотов в минуту:

$$n = \frac{60}{p \times T} = \frac{60 \times f}{p}$$

где f – частота тока, p – число пар полюсов. Рис. 2–30 показывает, что магнитное поле обмотки получилось несинусоидальным, и поэтому обмотки с одной катушкой на пару полюсов и фазу не применяются.

Рассмотрим, какое влияние на вид кривой поля оказывает замена катушек катушечными группами. Предположим, что катушечная группа имеет три катушки с диаметральным шагом (рис. 2–31).

Задаваясь каким–нибудь значением тока, строим кривую м. д. с. для каждой катушки в отдельности и, складывая затем эти кривые, получим результирующую м д. с всей катушечной группы. Эта кривая показывает, что на участках *г – д*, *ж – а* и *б – а* результирующая м. д. с. является суммой м. д. с. отдельных катушек (на рисунке направление действия м. д. с. показано стрелками).

На участках расположения сторон катушек *б – г* и *д – ж* (фазных зонах) результирующая м. д. с. всегда меньше суммы м. д. с. катушек. Таким образом, замена одной катушки катушечной группой ухудшает использование обмотки, но делает кривую поля более синусоидальной.

Обычно отношение м. д. с. катушечной группы к м. д. с. одной катушки с тем же числом витков называют обмоточным коэффициентом распределения. Он всегда меньше единицы. Предположим теперь, что в фазе I ток имеет максимальное значение, тогда в фазах II и III он будет в два раза меньше и будет иметь противоположное направление.

Построим результирующую м. д. с. всей обмотки по кривым м. д. с. фаз I, II и III (рис 2–32). Складывая эти кривые, получим результирующую м. д. с. всей обмотки, которая гораздо ближе к синусоиде, чем кривые результирующих м. д. с. рис. 2–30. Это означает, что с увеличением числа катушек в катушечной группе кривая м. д. с., а следовательно, и кривая вращающегося магнитного поля, приближаются к синусоиде.

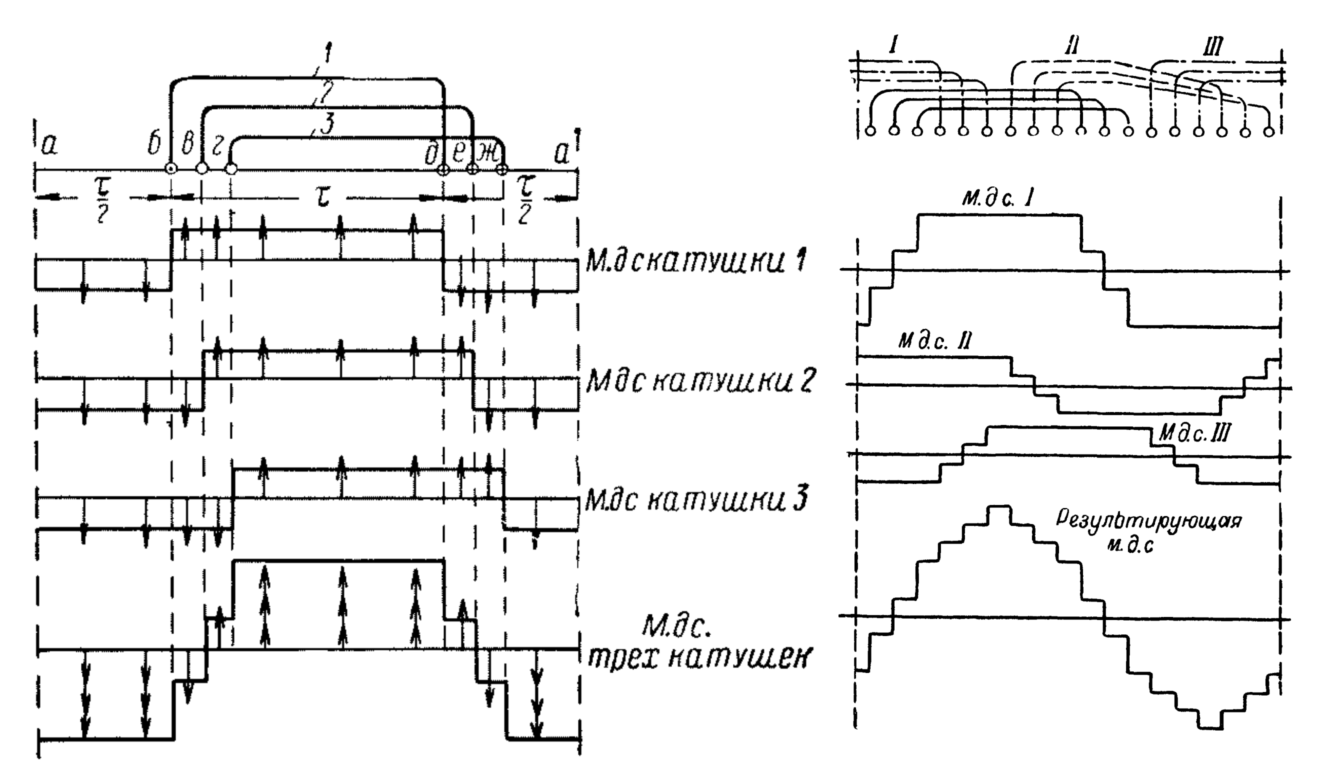


Рис. 2–31. Кривая м. д. с. катушечной группы.

Рис. 2–32. Кривая м. д. с. трехфазной обмотки.

а. Кривая м. д. с. обмотки со сплошными фазными зонами и с укороченным шагом катушек.

Все разобранные однослойные обмотки характерны тем, что у них фазные зоны заняты только сторонами катушек своей фазы, поэтому их можно назвать обмотками со сплошной фазной зоной. Рассмотрим теперь распределение магнитных линий поля, создаваемого катушкой с укороченным шагом.

Из рис. 2–33 видно, что магнитный поток, входящий в зазор из ротора, распределяется в зазоре на меньшем участке длины окружности статора а б в, чем поток, входящий в зазор из статора на участке а г в. Так как магнитный поток один и тот же, то, очевидно, силовые линии внутри катушки будут гуще, чем снаружи. Таким образом, катушка с укороченным шагом создает два полюса неодинаковой ширины и с неодинаковыми индукциями. Поэтому и кривая м. д. с. также будет состоять из прямоугольников, неравных по ширине и высоте (рис. 2–34), так как, если пренебречь магнитным сопротивлением в стали, кривая поля может служить и кривой м. д. с.

Площади этих прямоугольников должны быть равными, так как поток внутри и вне катушки один и тот же.

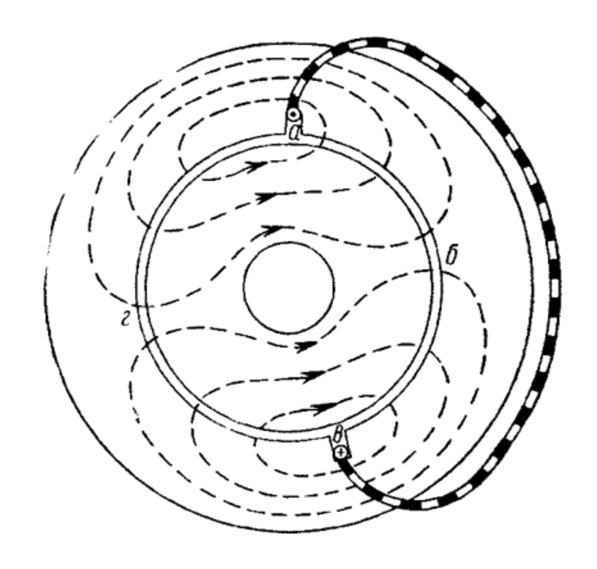


Рис. 2–33. Магнитное поле катушки с укороченным шагом.

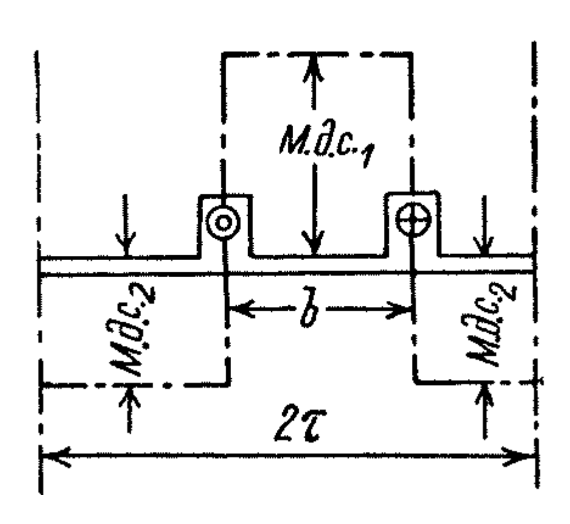


Рис. 2–34. Кривая м. д. с. катушки с укороченным шагом.

Обозначим ширину катушки через *b*, тогда, исходя из равенства площадей, найдем:

$$\frac{\text{м. д. с.}_1}{\text{м. д. с.}_2} = \frac{2\tau - b}{b}$$

На рис. 2–35, *а*, изображены катушки с укороченным шагом на развернутом статоре, а на рис 2–35, *д* – катушки с диаметральным шагом. На рис 2–35, *г* показано построение результирующей м. д. с. одной катушечной группы с катушками с укороченным шагом путем сложения кривой м. д. с. катушки 1 (рис. 2–35, *б*) и кривой м. д. с. катушки 2 (рис. 2–35, *в*). На рис 2–35, з показана результирующая м. д. с. катушечной группы с диаметральным шагом, складывая кривые (рис. 2–35, *е* и *ж*). Сопоставляя кривые рис. 2–35, *г* и *з*, приходим к заключению, что кривые друг от друга ничем не отличаются. Это приводит к тому, что и результирующая м. д. с. всей обмотки, а также и вращающееся магнитное поле, будут для этих обмоток одинаковыми. Таким образом, электрические и магнитные свойства обмоток со сплошными фазными зонами не зависят от ширины катушек.

У обмоток с укороченным шагом более короткие лобовые части, и поэтому они имеют преимущество перед обмотками с диаметральным шагом, чем и объясняется большее их распространение.

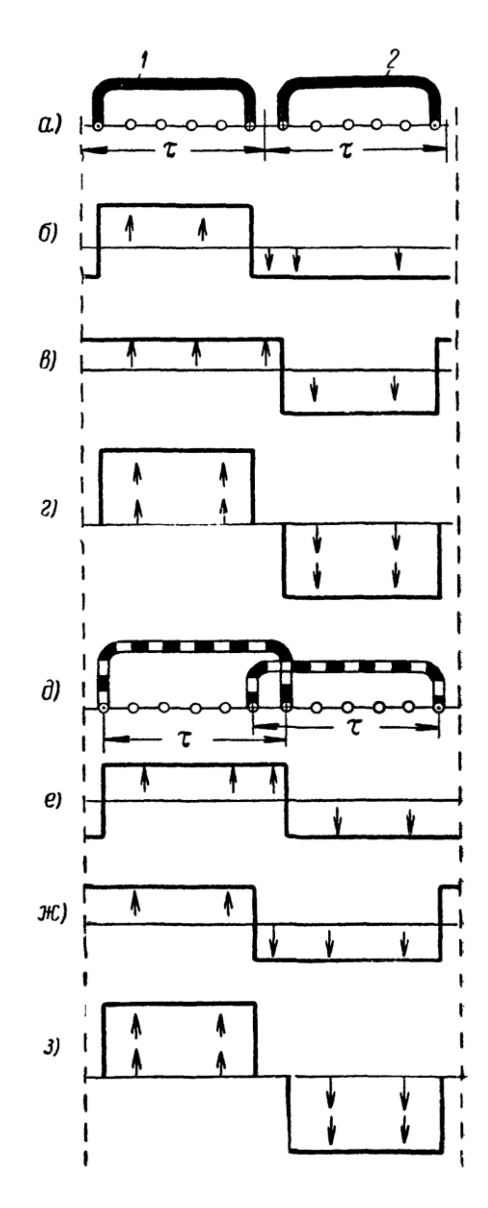


Рис. 2–35. Сравнение кривых м. д. с. катушек с укороченным и диаметральным шагом.

б. Однослойные обмотки с не сплошной фазной зоной.

Существуют обмотки, у которых не все стороны катушек одной фазной зоны размещаются в соседних пазах. Некоторые стороны катушек размещаются на фазных зонах соседних фаз.

Такие обмотки называют обмотками с не сплошными фазными зонами. Вполне очевидно, что эти обмотки можно выполнить только катушками с укороченным шагом. Поэтому часто эти обмотки называют *обмотками с укороченным шагом*. На рис. 2–36, а показана четырехполюсная машина с четырьмя катушечными сторонами на фазную зону. Схема обмотки составлена таким образом, что две стороны оставлены на своей фазной зоне, а две другие помещены в соседние. На рис. 2–36, *б* изображена основная синусоида кривой поля и синусоида с шагом $^{1}/_{5}\tau$. На рис. 2–36, *в* приведены те же синусоиды (только на одно полюсное деление τ) и показано распределение сторон одной фазы обмотки со сплошной фазной зоной. Сравнивая рис. 2–36, *б* и *в*, можно для обмотки с не сплошной фазной зоной сделать следующее заключение:

1. Э. д. с. от основной синусоиды уменьшается, так как сумма индукций 1 + 2 + 3 + 4 на рис. 2–36, *б* меньше суммы индукций 1' + 2' + 3' + 4' на рис. 2–36, *в*.
2. Э. д. с. от синусоиды с шагом $^{1}/_{5}\tau$ уменьшается, так как абсолютная сумма индукций $+1_1 + (-2_1) + (-3_1) + 4_1$ меньше суммы индукций $+1_2 + (-2_2) + (-3_2) + 4_2$, что объясняется тем, что стороны оказались распределенными на большем участке статора.

В то время как э. д . с. от основной синусоиды уменьшается очень незначительно (примерно на 8%), э. д. с. от синусоиды с шагом $^{1}/_{5}\tau$ уменьшается значительно сильнее. В нашем примере эта э. д. с. уменьшается в 2,5 раза.

Все это говорит о том, что *при не сплошном заполнении фазной зоны кривая э. д. с. становится более близкой к синусоидальной. Но, как и следовало ожидать, использование основного магнитного потока при этом уменьшается.*

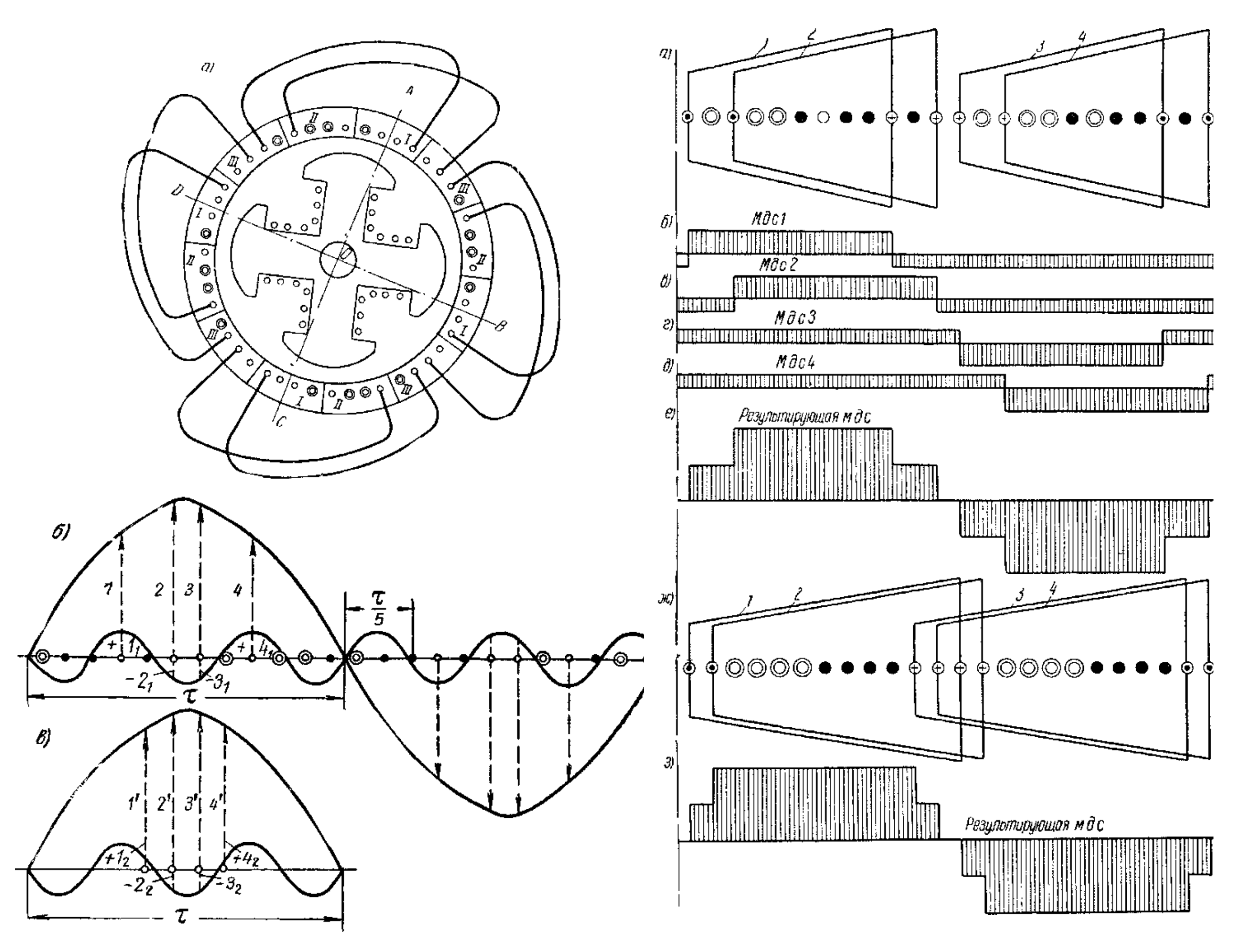
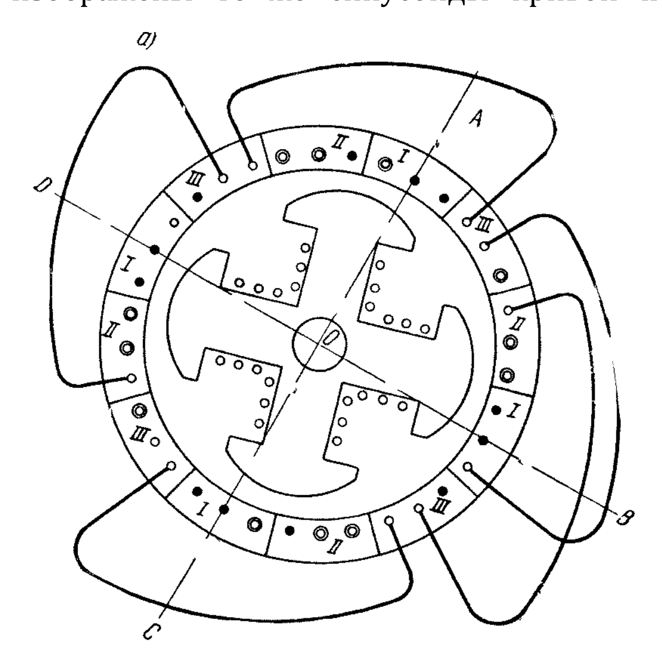


Рис. 2–36. Распределение сторон катушек одной фазы с не сплошной фазной зоной при нечетном числе сторон катушек.

Рис. 2–37. Сравнение кривых м. д. с. при не сплошной и сплошной фазных зонах, при четном числе сторон катушек на полюс и фазу.

На рис. 2–37 дано сопоставление тех же обмоток в отношении кривых м. д. с. Схема расположения катушек одной фазы обмотки с не сплошной фазной зоной показана на рис. 2–37, *а*; на рис. 2–37, *б*, *в*, *г* и д – кривые м. д. с. отдельных катушек, а на рис. 2–37, *е* – результирующая м. д. с. фазы. На рис. 2–37, *ж* показано расположение сторон катушек той же фазы при сплошном заполнении фазной зоны, а на рис. 2–37, *з* – результирующая м. д. с. этой фазы для данного случая. Сопоставляя кривые рис. 2–37, *е* и *з*, можно заключить, что они симметричны. Рассмотрим обмотки, в которых катушечные группы состоят из нечетного числа катушек. В виде примера на рис. 2–38, *а* изображена обмотка четырехполюсной машины, состоящая из трех катушечных сторон на фазную зону, и указано размещение сторон катушек на фазных зонах. На рис. 2–38, *б* приведена основная синусоида кривой поля для двух полюсов и синусоида с шагом $^{1}/_{5}\tau$, а также показано размещение сторон катушек рассматриваемой обмотки. На рис. 2–38, *в* изображены те же синусоиды кривой поля только на один полюс и показано размещение сторон катушек обмотки со сплошной фазной зоной.



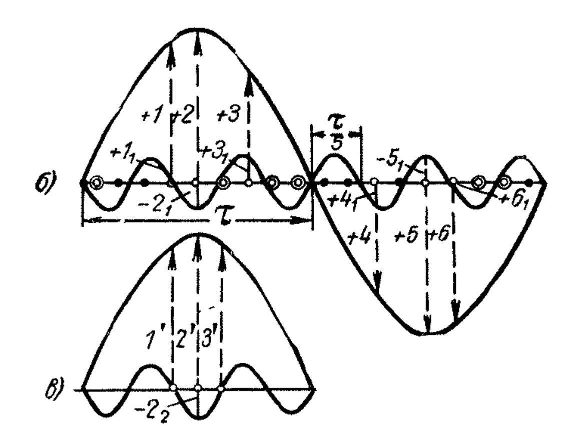


Рис. 2–38. Распределение сторон катушек одной фазы с не сплошной фазной зоной при нечетном числе сторон катушек.

Сравнивая рис. 2–38, *б* и *в*, можно для этой обмотки с не сплошной фазной зоной сделать следующие заключения:

1) э. д. с. от основной синусоиды уменьшается, так как сумма индукций 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 меньше суммы индукций: 2 × 2' + 2 × 2' + 2 × 3'

2) э. д. с. от синусоиды с шагом $^{1}/_{5}\tau$ уменьшается, так как стороны катушек оказываются распределенными на более широком участке статора.

Таким образом, и *при нечетном числе катушек в катушечной группе получаем уменьшение э. д. с, причем более значительное для э. д. с, вызванных магнитным полем синусоиды с шагом* $^{1}/_{5}\tau$. Поэтому в отношении влияния на кривую получаем то же самое, что и при четном числе катушек кривой э. д. с. к синусоиде. Хуже обстоит дело с образованием вращающегося магнитного поля. На рис. 2–39 показано построение кривой м. д. с. рассматриваемой обмотки и обмотки со сплошной фазной зоной. Сопоставляя рис. 2–39, *д* и *ж*, видим, что в то время как при сплошных фазных зонах обмотка имеет кривые м. д. с. фазы одинакового вида для того и другого полюса, обмотка с не сплошными фазными зонами (рис. 2–39, *д*) имеет несимметричную кривую м. д. с, т. е. кривые м. д. с. отдельных полюсов имеют различный вид. Другими словами: обмотка с не сплошной фазной зоной при нечетном числе катушек в катушечной группе дает несимметричную кривую поля. Это объясняется следующим. Если провести оси *ОА*, *ОВ*, *ОС*, *ОД* через середину фазной зоны какой–либо фазы (на рис. 2–38, *а* фазы I), то увидим, что стороны катушек данной фазы располагаются относительно этих осей несимметрично.

При четном числе катушек в катушечной группе (рис. 2–36, *а*) стороны катушек располагаются симметрично. *Обмоток с не сплошной фазной зоной и нечетным числом катушек в катушечной группе по возможности следует избегать как для асинхронных двигателей, так и для синхронных машин, так как они в первом случае дают несинусоидальное вращающееся поле, а во втором увеличивают потери.*

в. Образование параллельных ветвей статорных обмоток асинхронных двигателей.

При рассмотрении способов образования параллельных ветвей в обмотке статора синхронного генератора мы пришли к заключению, что необходимо стремиться к тому, чтобы каждая параллельная ветвь составлялась из катушек по возможности равномерно распределенных по статору. Это объяснялось тем, что возможное нарушение равномерности зазора между ротором и статором при работе машины вызывает неравенство магнитных потоков полюсов.

В асинхронных двигателях воздушный зазор между статором и ротором выбирается значительно меньше, чем в синхронных машинах.

Поэтому, например, срабатывание вкладышей подшипников приводит к относительно бóльшему нарушению зазора, чем в синхронных машинах. Но в асинхронных двигателях в отличие от синхронных магнитный поток создается обмоткой статора, которая для этого потребляет из сети намагничивающий ток.

Обычно во всех электрических машинах падение напряжения в сопротивлениях обмотки статора незначительно. Поэтому в асинхронном двигателе приложенное к зажимам обмотки статора напряжение сети практически целиком уравновешивается э. д. с, которая индуктируется вращающимся магнитным полем в обмотке статора. Так как приложенное напряжение сети постоянно, то и э. д. с. параллельной ветви также будет постоянной, а это в свою очередь требует постоянства магнитного потока, пересекающего катушечные группы параллельной ветви обмотки статора. Если параллельную ветвь выполнить так же, как и в синхронных генераторах, т. е. из катушечных групп, равномерно распределенных по статору, то один и тот же намагничивающий ток, проходя по катушечной группе, под которой зазор оказался меньшим, создаст большой магнитный поток, а проходя по катушечной группе, под которой зазор оказался большим, наоборот, – небольшой поток. Таким образом, магнитный поток катушечных групп параллельной ветви будет неодинаковым, вследствие чего может появиться неодинаковое (одностороннее) магнитное притяжение ротора.

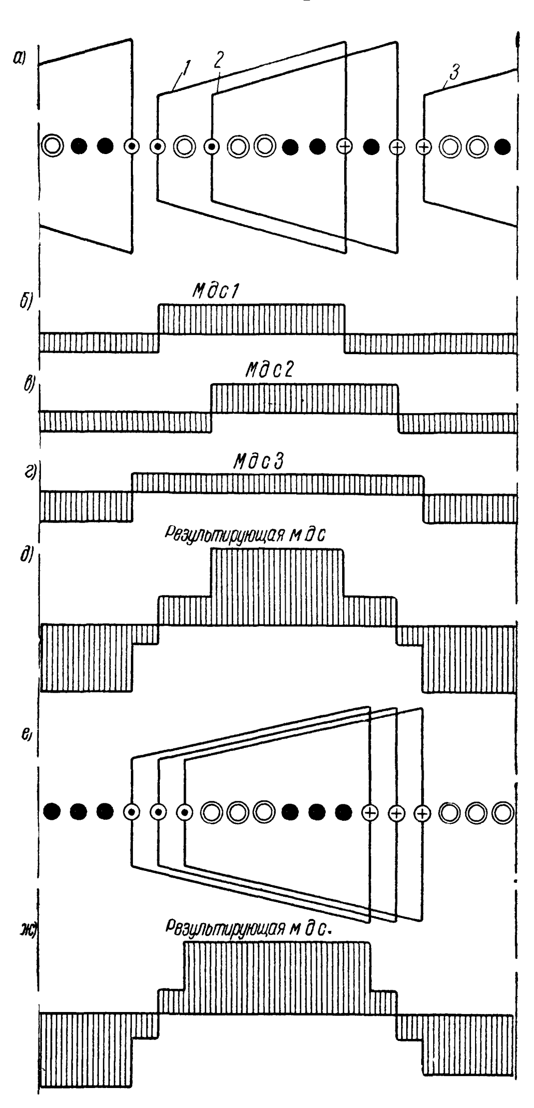


Рис. 2–39. Сравнение кривых м. д. с. при не сплошной и сплошной фазных зонах при нечетном числе сторон катушек на полюс и фазу.

Если же параллельную ветвь составить из соседних катушечных групп фазы, то намагничивающий ток параллельной ветви, расположенной там, где зазор меньше, будет меньше, чем в параллельной ветви, расположенной там, где зазор больше. Это объясняется тем, что при большем магнитном сопротивлении для образования того же по величине магнитного потока необходим большой ток. В этом случае намагничивающий ток в параллельных ветвях будет неодинаковым. В асинхронных двигателях, из соображений равномерного распределения потока по зазору, лучше всего брать число параллельных ветвей равным наибольшему возможному числу, но при этом получается наибольшее расхождение в токах параллельных ветвей, что в некоторых случаях может привести к перегреву обмотки. Практически целесообразней при a = 2 разные параллельные ветви включать диаметрально противоположные катушечные группы, а при a = 3 включать в разные параллельные ветви катушечные группы, отстающие друг от друга на 120 геометрических градусов.

2–4. Схемы однослойных обмоток.

а. Схемы и их классификация.

После того как мы выяснили правила образования обмотки, перейдем к рассмотрению практического выполнения их схем. Отметим, что схемы обмоток асинхронных и синхронных машин совершенно одинаковы. Обозначим через Z – число пазов статора, $2p$ – число полюсов, m – число фаз. Тогда число фазных зон будет равно $2pm$ и число пазов на фазную зону будет равно $Z/2pm$. Число пазов на фазную зону, или, как обычно называют, число пазов на полюс и фазу, будем обозначать через q.

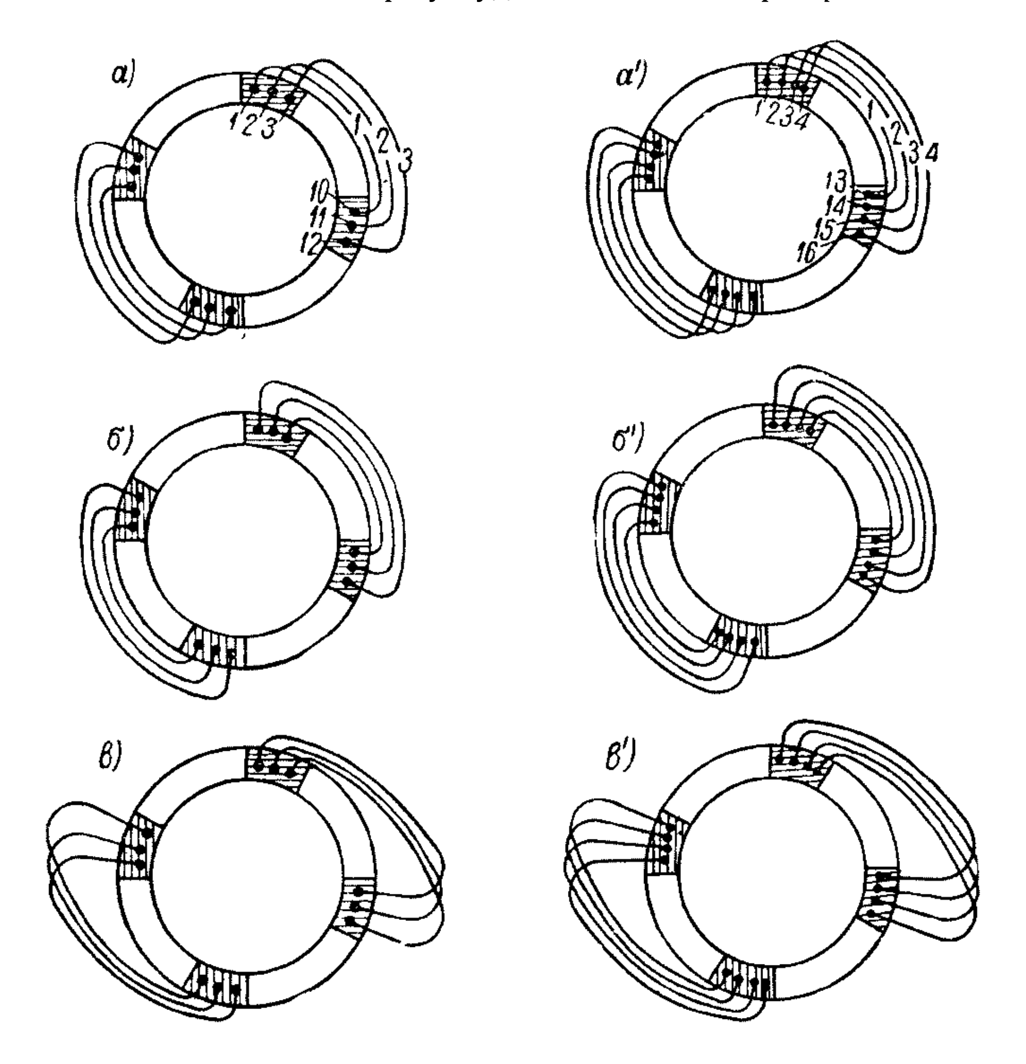


Рис. 2–40. Выполнение лобовых частей катушек однослойных обмоток.

В однослойных обмотках число пазов на полюс и фазу обычно бывает целым числом, хотя имеются однослойные обмотки и с дробным q. Ввиду того, что последние встречаются редко, мы их подробно рассматривать не будем. Двухслойные обмотки с дробным q будут рассмотрены ниже. Так как в однослойных обмотках сторона катушки занимает весь паз, то число сторон катушек на фазной зоне будет равно числу пазов на фазную зону, т. е. q. Например, для обмотки, показанной на рис. 2–24, $q = 2$. В целях облегчения производства, экономии меди на лобовых частях и уменьшения длины вылета обмотки остановились на двух основных видах ее изготовления. Первый вид характеризуется тем, что все катушки катушечной группы имеют различную ширину и концентрически входят одна в другую. Такие обмотки обычно называют обмотками с концентрическими катушками (рис. 2–40, *б* и *б*'). Второй, вид изготовления характеризуется тем, что все катушки обмотки одинаковы (рис. 2–40, *а* и *а*', *в* и *в*'). Поэтому такие обмотки называют симметричными или шаблонными обмотками. Каждый из этих двух основных видов обмоток в свою очередь разделяется на типы, о которых будет сказано ниже.

б. Обмотки с концентрическими катушками.

В однослойных обмотках на каждую пару полюсов и фазу приходится по одной катушечной группе. Таким образом, в общем случае обмотка имеет $3p$ катушечных групп. Если p равно четному числу, то обмотка будет иметь четное число катушечных групп. В этих случаях можно поступить следующим образом: лобовые части одной половины катушечных групп поместить в одной плоскости, а второй половины – в другой (рис. 2–41).

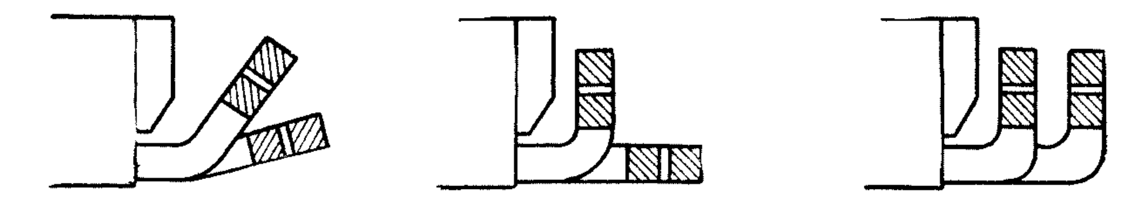


Рис. 2–41. Расположение лобовых частей катушек концентрических обмоток при $q = 2$.

Если p равно нечетному числу, то обмотка будет иметь нечетное число катушечных групп. В этих случаях одна катушечная группа получается "кривой" или "переходной". На рис. 2–42 изображены схемы концентрической обмотки при четном (рис. 2–42, *б*) и нечетном (рис. 2–42, *а* и *в*) числе пар полюсов с расположением лобовых частей в двух плоскостях. Обмотки такого типа носят название двухплоскостных концентрических катушечных обмоток. На рис. 2–43 приведены торцовая (рис. 2–43, *а*) и развернутые (рис. 2–43, *б*) схемы обмотки с $2p = 4$, $Z = 36$, $q = 3$, соединение фаз – звездой. На рис. 2–43, б показана схема обмотки при $a = 1$, а на рис. 2–43, *в* – при $a = p = 2$. Если лобовые части одной половины катушек каждой катушечной группы отогнуть в одну сторону, а второй половины в другую, то получим две полугруппы (рис. 2–45). Тогда число катушечных полугрупп в каждой фазе будет равно числу полюсов, и лобовые части их займут на торцовой поверхности статора всю окружность.

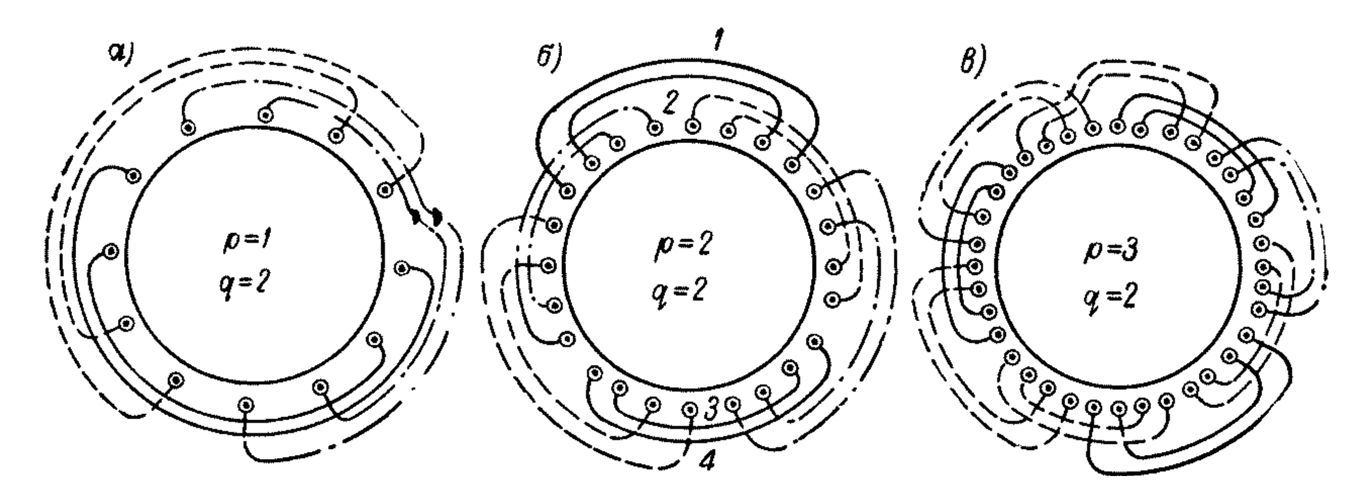


Рис. 2–42. Схемы расположения лобовых частей катушек концентрической двухплоскостной катушечной обмотки при четном и нечетном числе пар полюсов.

В этом случае лобовые части катушек одной фазы располагаются в одной плоскости, а лобовые части катушек трех фаз – в трех плоскостях (рис. 2–44). Такие обмотки носят название трехплоскостных концентрических обмоток. Часто их называют концентрическими обмотками "вразвалку", показывая этим, что катушки катушечной группы отгибаются в разные стороны. Полная схема такой обмотки изображена на рис. 2–45. Так как лобовые части каждой фазы располагаются в одном слое, то в этих обмотках удается избежать кривых катушек при нечетном числе пар полюсов *p*. Характерной особенностью концентрических обмоток является то, что катушки имеют различную форму и длину.

Это надо иметь в виду при образовании параллельных ветвей, так как нам необходимо не только равенство э. д . с параллельных ветвей, но и равенство активных и индуктивных сопротивлений ветвей. В противном случае при равных э. д. с. токи в ветвях могут получиться неравными. Для того чтобы активное и индуктивное сопротивления ветвей (в двухплоскостных обмотках) были одинаковыми, необходимо, чтобы в каждую параллельную ветвь вошло по одинаковому числу катушечных групп из обеих плоскостей.

Обозначая число параллельных ветвей каждой фазы через *a*, получим, что число катушечных групп из каждой плоскости в параллельной ветви будет равно $p/2a$.

Поэтому только в том случае, когда $p/2a$ равно целому числу, мы сможем получить обмотку с равными сопротивлениями.

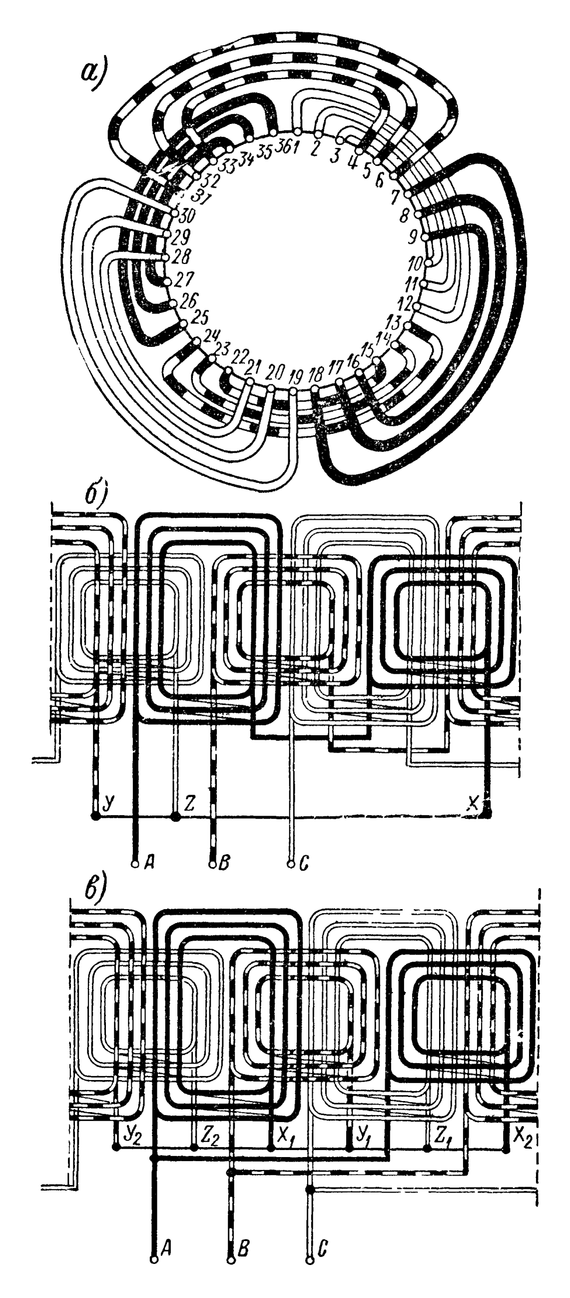


Рис. 2–43. Схема двухплоскостной концентрической обмотки.

При a = 2 это возможно только при p = 4, 8, 12 и т. д. Во всех остальных случаях сопротивления параллельных ветвей получаются не одинаковыми. Чтобы избежать этого (при четном числе пазов на полюс и фазу), можно образовывать параллельные ветви не из целых катушечных групп, а из полугрупп. Предположим, что p = 2 и q = 2 (рис. 2–42, *б*). Катушка 1 наиболее длинная, а катушка 3 наиболее короткая. Поэтому включая катушки 1 и 3 в одну параллельную ветвь и катушки 2 и 4 в другую, получим значительно меньшее расхождение в сопротивлениях ветвей. В трехплоскостных обмотках катушечные группы фазы лежат в одной плоскости (рис. 2–46). Поэтому образование параллельных ветвей в них не встречает затруднений в смысле неравенства сопротивлений ветвей. Сопротивления же фаз получаются неодинаковыми, так как форма и размеры катушечных групп различны. Чтобы избежать этого, можно катушку, длинную с одной стороны статора, сделать короткой с другой, что, конечно, усложняет производство. Таким образом, двух– и трехплоскостные обмотки по существу являются обмотками несимметричными.

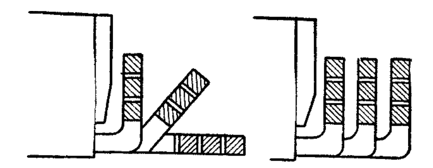


Рис. 2–44. Расположение лобовых частей катушек трехплоскостных концентрически обмоток q = 3.

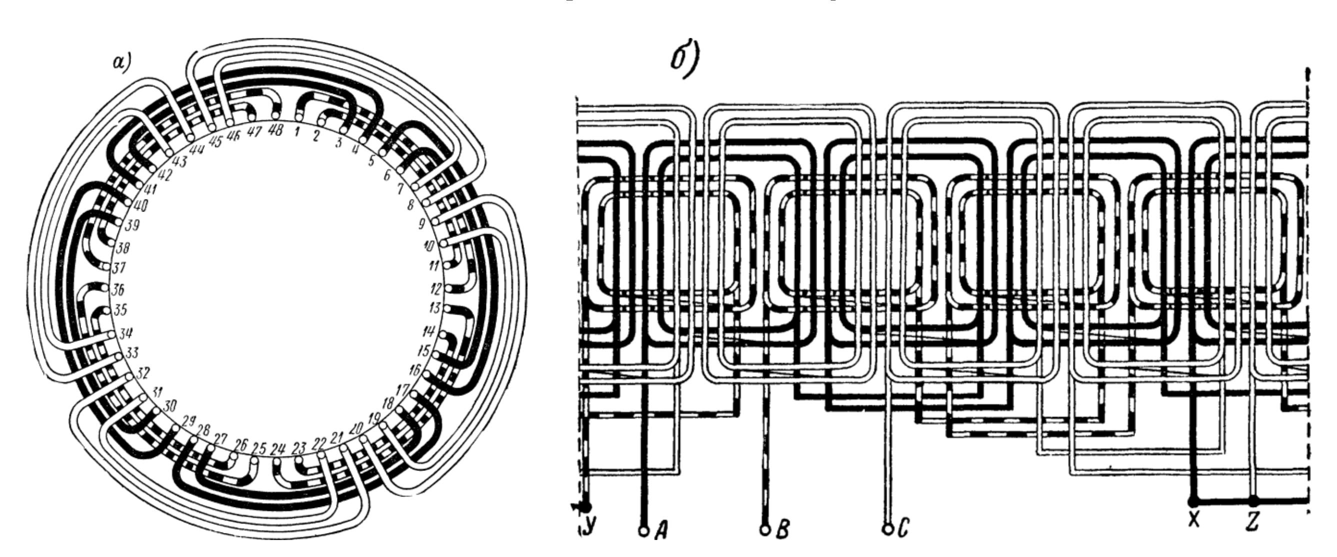


Рис. 2–45. Торцовая (*а*) и развернутая (*б*) схемы трехплоскостной концентрической обмотки "вразвалку" $2p$ = 4, m = 3, q = 4, Z = 48.

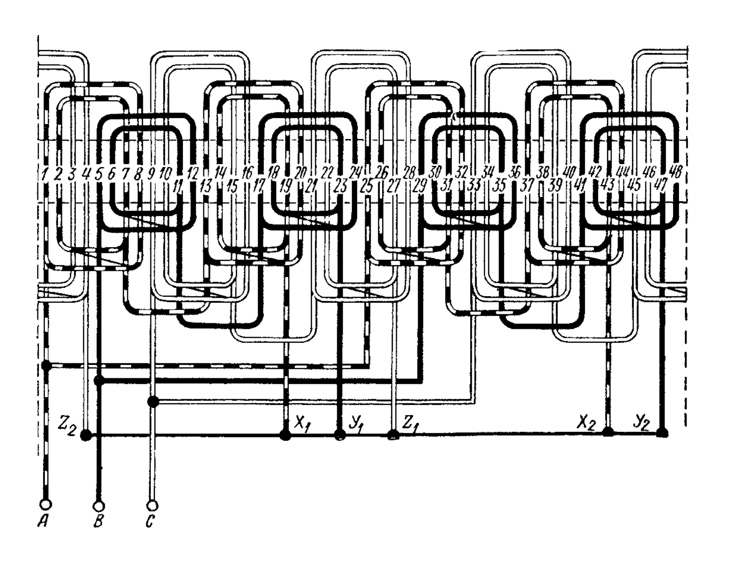


Рис. 2–46. Схема трехплоскостной концентрической обмотки $2p$ = 8, m = 3, q = 2, Z = 48.

в. Шаблонные обмотки.

В противоположность обмоткам с концентрическими катушками шаблонные обмотки являются симметричными, так как составляются из одинаковых катушек. Из конструктивных соображений лобовые части катушек шаблонных обмоток изготовляются в форме трапеции. Шаблонные обмотки можно разбить на следующие типы:

1) простая шаблонная обмотка
2) шаблонная обмотка "вразвалку"
3) цепная обмотка

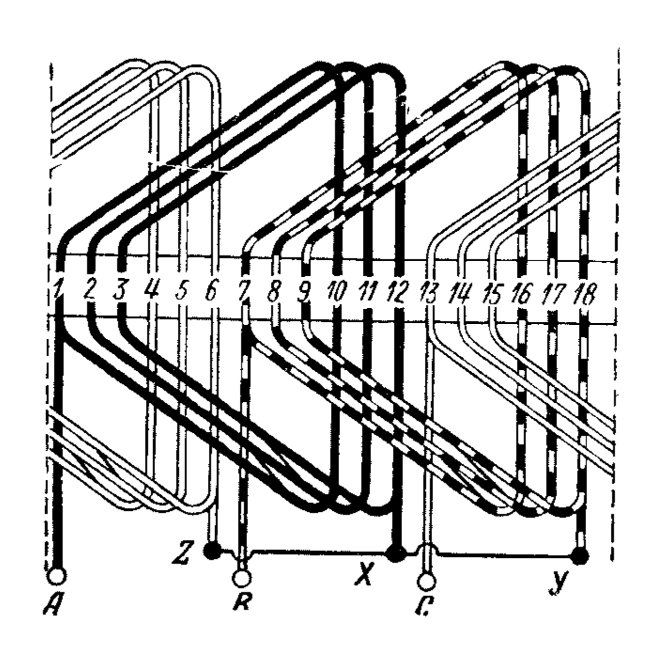


Рис. 2–47. Схема простой шаблонной обмотки.

Схема простой шаблонной обмотки для одной фазы изображена на рис. 2–40, *в* и *в*'. Сравнивая эту схему с принципиальной (рис. 2–40, *а* и *а*'), можно заключить, что они отличаются между собой только видом катушек. Трапецеидальный вид катушек шаблонной обмотки позволяет расположить лобовые части только в двух плоскостях. На рис. 2–47 приведена полная развернутая схема простой шаблонной обмотки двухполюсной машины при $2p = 2$ с тремя катушками в катушечной группе. Из схемы видно, что если условиться в какой–либо фазе считать за начало короткую сторону катушки, то и для всех других фаз началом катушечных групп будет также короткая сторона катушки. Схема шаблонной обмотки "вразвалку" для одной фазы изображена на рис. 2–48. Сравнивая ее со схемой концентрической обмотки "вразвалку" (рис. 2–49), видим, что они отличаются между собой только формой лобовых частей катушечных групп.

На рис. 2–50 изображена полная схема шаблонной обмотки "вразвалку" для двухполюсной обмотки при 24 пазах. Катушки имеют все–таки неодинаковую форму. Чтобы избежать этого применяют схемы, в которых все катушки имеют совершенно одинаковую форму. На рис. 2–51 представлена схема одной фазы такой обмотки, а на рис. 2–52 – полная развернутая схема обмотки для машины с $2p = 2$ и $q = 4$.

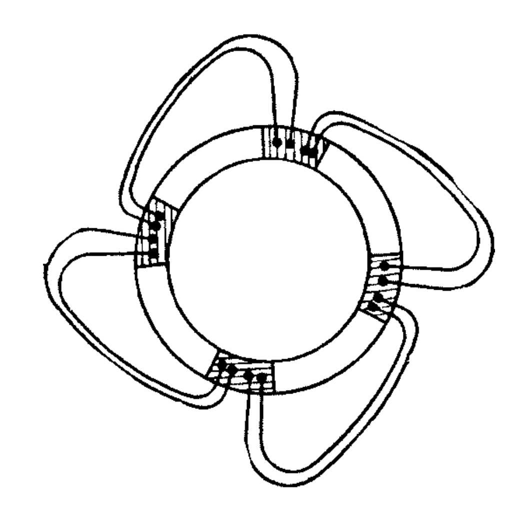


Рис. 2–48. Схема одной фазы шаблонной обмотки "вразвалку".

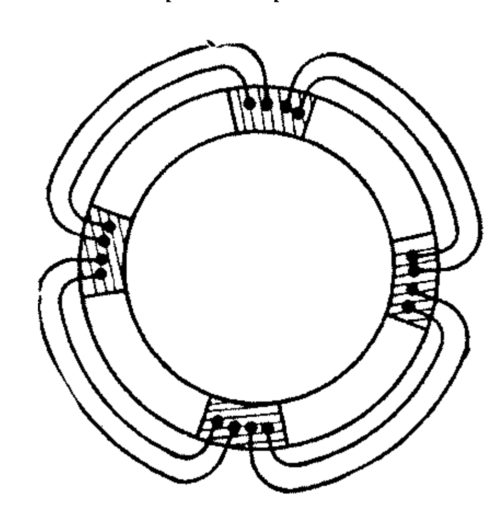


Рис. 2–49. Схема одной фазы концентрической обмотки "вразвалку".

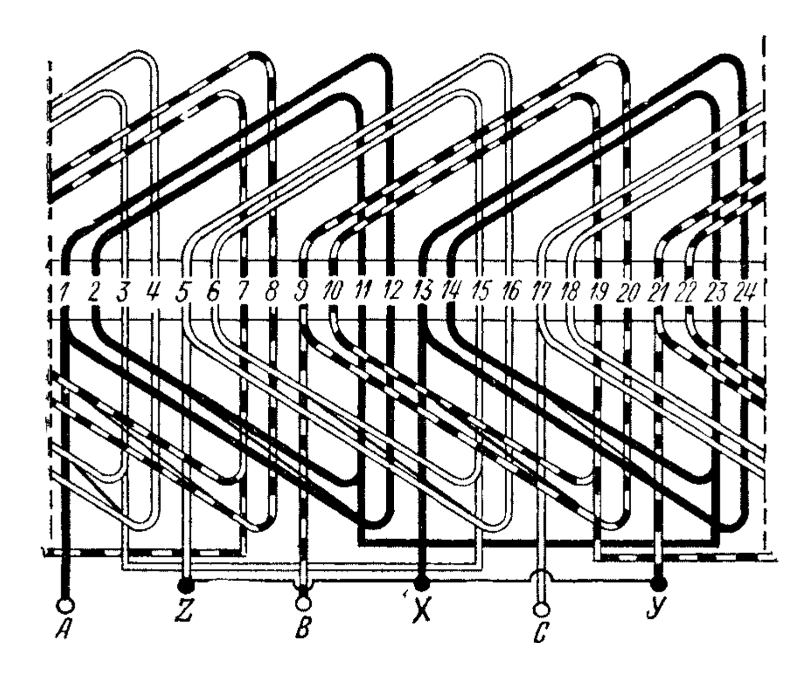


Рис. 2–50. Схема шаблонной обмотки "вразвалку" $2p = 2$, $m = 3$, $q = 4$, $Z = 24$.

Цепные обмотки также выполняются "вразвалку". Отличие их от предыдущих заключается в том, что в цепных обмотках короткие и длинные стороны катушек чередуются, т. е. "развалка" производится не по полугруппам, а по катушкам.

На рис. 2–53 показано выполнение цепной обмотки для одной фазы при четном, а рис. 2–54 при нечетном числе пазов на полюс и фазу. На рис. 2–55 приведена полная схема цепной обмотки с $2p = 6$, $q = 2$, $Z = 36$, а на рис. 2–56 для обмотки с $2p = 4$, $q = 2$, $Z = 24$. Обе обмотки выполнены с укороченным шагом. Действительно, для рис. 2–55 диаметральный шаг был бы: $Z/2p = 36/6 = 6$, т. е. катушка должна лежать в первом пазу и в седьмом, по схеме катушка лежит в первом пазу и в шестом. Для обмотки машины рис. 2–56 диаметральный шаг был бы равен – $Z/2p = 24/4 = 6$, тогда как по схеме катушка имеет шаг, равный 5. В том и другом случае укорочение шага составляет ⅚, что дает экономию в меди лобовых частей. Рассматривая схемы рис. 2–55 и 2–56, мы видим, что если короткие стороны катушек лежат в нечетных пазах, то длинные стороны – в четных. При наличии короткой и длинной сторон, катушку можно образовать только в том случае, если ее шаг будет равен нечетному числу. В предыдущих схемах шаг был равен 5. Таким образом, цепную обмотку можно выполнить только при нечетном шаге катушки.

Выше было выяснено, что в электрическом и магнитном отношениях обмотки с укороченным шагом катушек, но со сплошными фазными зонами, равноценны обмоткам с диаметральным шагом. Поэтому обмотки, выполненные по схемам, подобным рис. 2–55 и 2–56, в основном ценны только с точки зрения уменьшения расхода меди на лобовые части.

На рис. 2–57 изображена полная схема цепной обмотки с укороченным шагом и с не сплошными фазными зонами при четном, а на рис. 2–58 – при нечетном числе пазов на полюс и фазу (катушки, принадлежащие различным фазам, показаны различной штриховкой). Выше мы выяснили, что обмоток при не сплошной фазной зоне с нечетным q следует по возможности избегать.

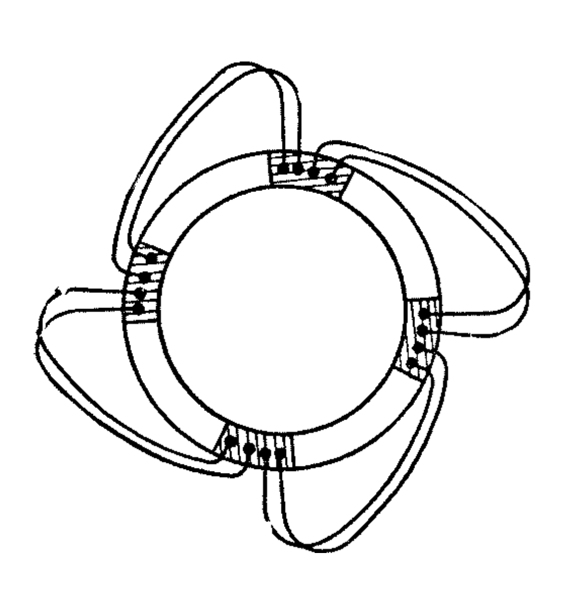


Рис. 2–51. Схема одной фазы шаблонной обмотки "вразвалку" с одинаковыми катушками.

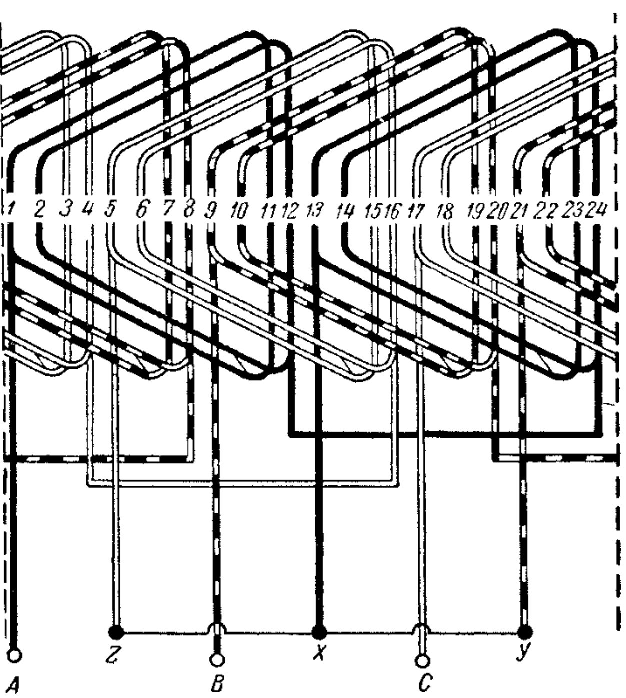


Рис. 2–52. Схема шаблонной обмотки "вразвалку" $2p = 2$, $m = 3$, $q = 4$, $Z = 24$

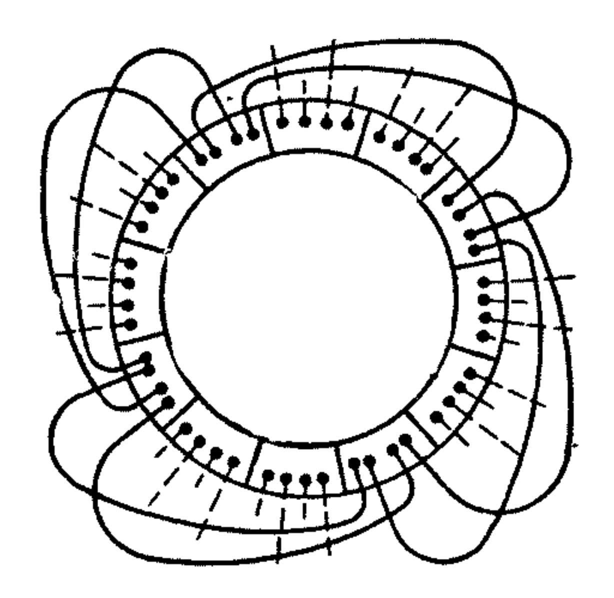


Рис. 2–53. Схема одной фазы цепной обмотки при четном q.

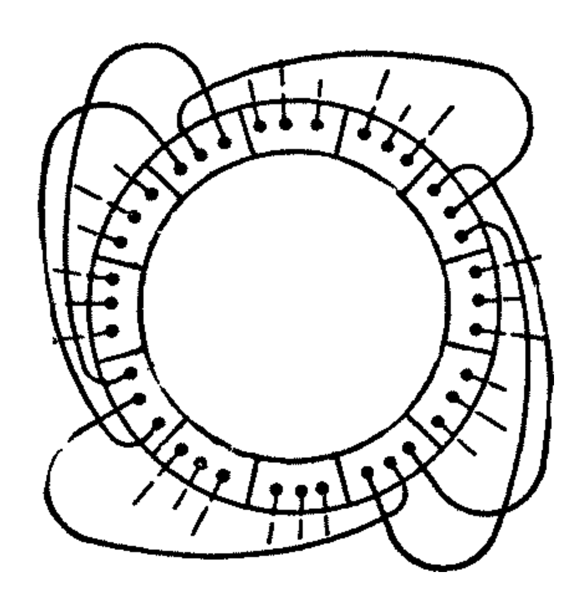


Рис. 2–54. Схема одной цепной обмотки при нечетном q.

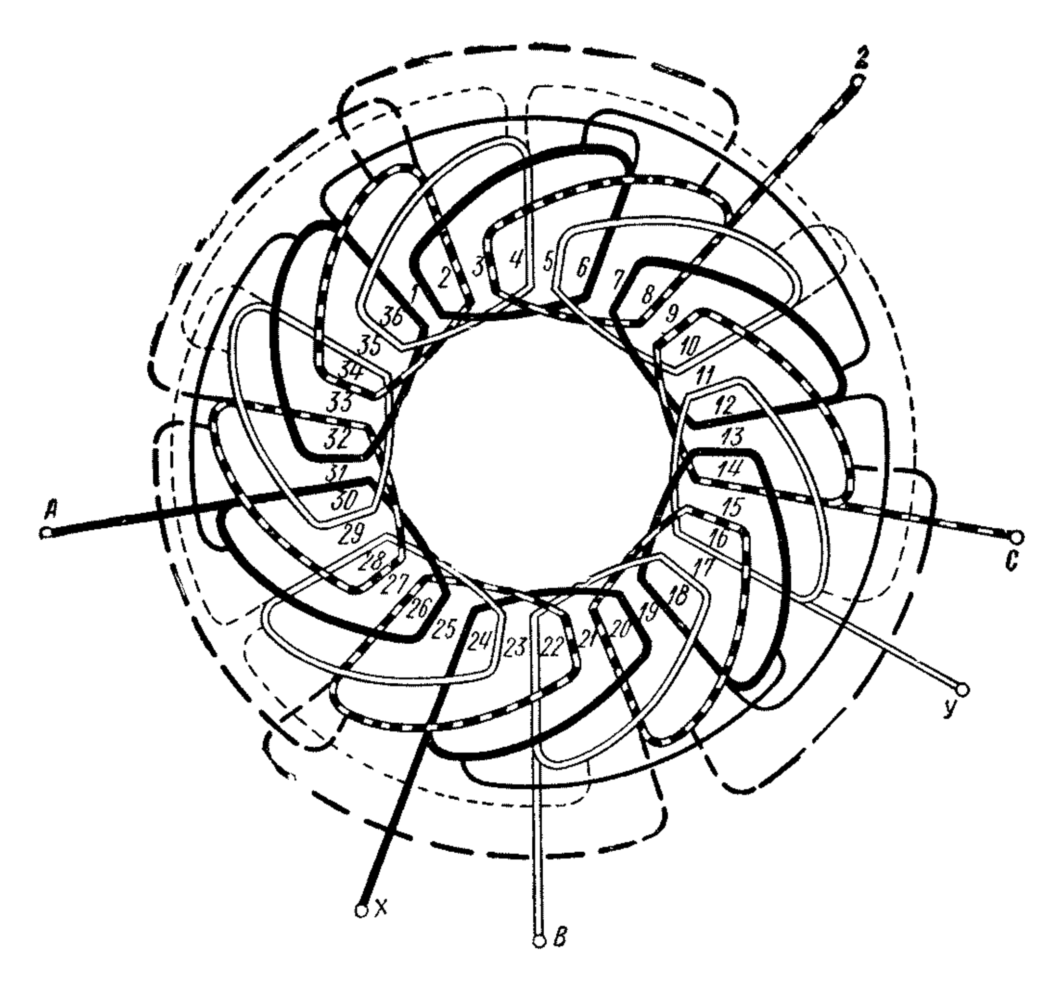


Рис. 2–55. Схема цепной обмотки: $2p = 6$, $m = 3$, $q = 2$, $Z = 36$, шаг 1–6.

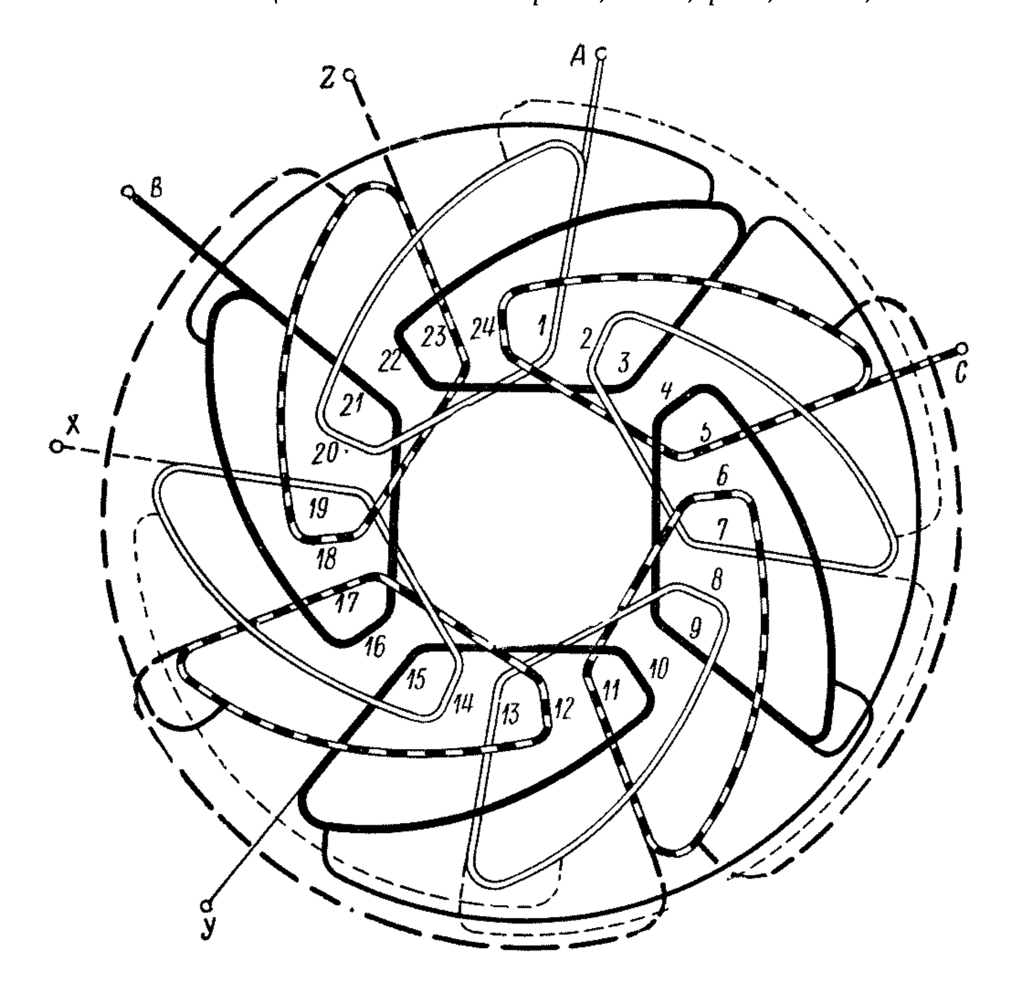


Рис. 2–56. Схема цепной обмотки: $2p = 4$, $m = 3$, $q = 2$, $Z = 24$, шаг 1–6.

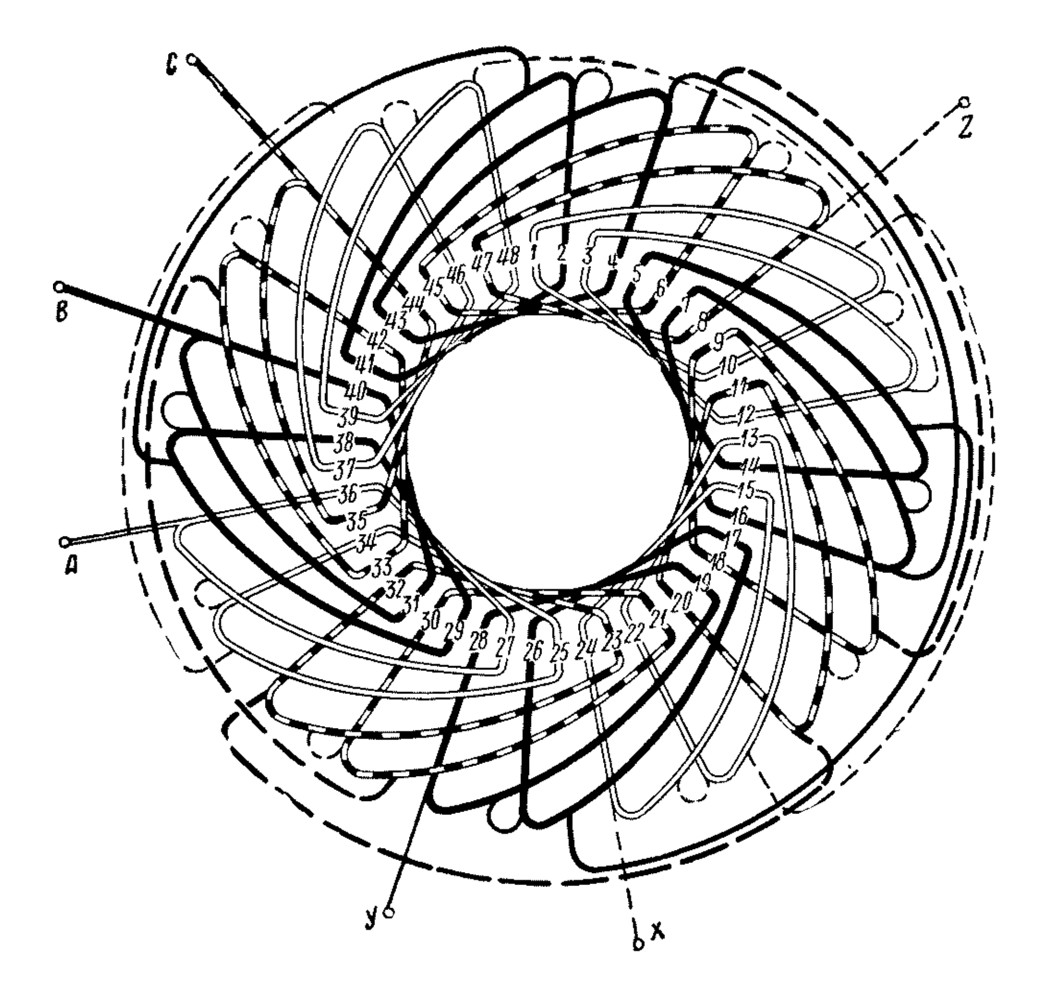


Рис. 2–57, Схема цепной обмотки: $2p = 4$, $m = 3$, $q = 4$, $Z = 48$, шаг1–10.

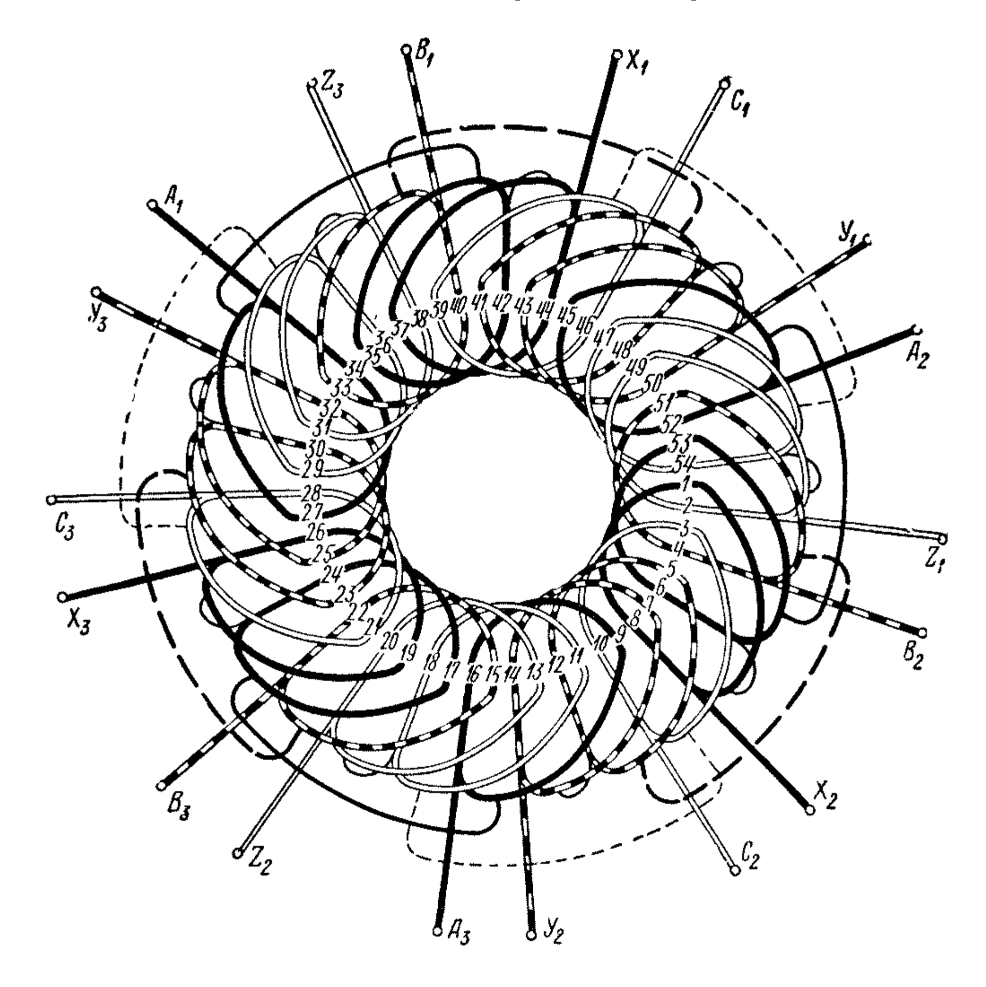


Рис. 2–58. Схема цепной обмотки: $2p = 6$, $m = 3$, $q = 3$, $Z = 54$, шаг 1–8,

2–5. Однофазные однослойные обмотки.

Принципиально однофазной обмоткой может служить обмотка одной фазы трехфазной обмотки. Так как в этом случае занятыми обмоткой оказываются только ⅓ всех пазов, то для лучшего использования стали обычно стороны катушек располагают не на 60 эл. градусов окружности статора, а на 120. Таким образом, ширина фазной зоны однофазной обмотки равняется 120 эл. градусам. В остальном образование однофазной обмотки ничем не отличается от образования обмотки одной фазы трехфазной обмотки.

2–6. Трехфазные двухслойные обмотки статоров синхронных и асинхронных машин.

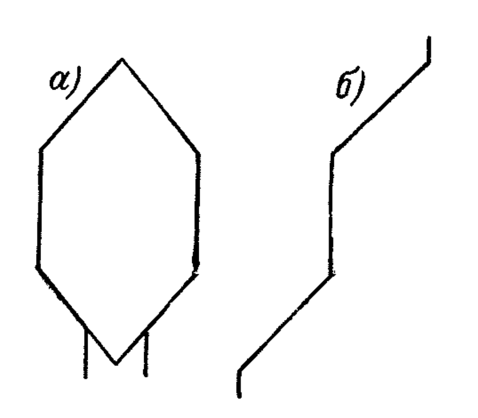


Рис. 2–59. Катушка двухслойной петлевой обмотки (*а*), полукатушка волновой стержневой обмотки (*б*).

а. Общие замечания.

Из всех обмоток статоров машин переменного тока двухслойные обмотки получили в настоящее время наибольшее распространение. Они делятся на петлевые и волновые. В петлевых двухслойных обмотках при обходе по схеме приходится делать петли, причем петлей является такая же катушка, как и в обмотках якорей машин постоянного тока (рис. 2–59, *а*). В волновых двухслойных обмотках при обходе по схеме приходится, перемещаясь все время вперед, делать зигзаги (волны), причем каждая полуволна представляет собой полукатушку (рис. 2–59, *б*). Обычно катушка петлевой двухслойной обмотки имеет несколько последовательно соединенных витков (рис. 2–60, *а*). Эти обмотки в дальнейшем будем называть двухслойными катушечными обмотками. Полукатушка волновой двухслойной обмотки может состоять из нескольких проводников, соединенных между собой параллельно. Такие обмотки в дальнейшем будем называть двухслойными стержневыми обмотками. Таким образом, двухслойная катушечная обмотка, так же как и обмотка якоря машины постоянного тока, состоит из отдельных катушек, которых в машине столько, сколько пазов. Элементом двухслойной стержневой обмотки является, как мы видели, полукатушка или стержень, поэтому число стержней обмотки равно удвоенному числу пазов. Если через Z обозначить число пазов, то при двухслойной катушечной обмотке число катушек равно Z, при двухслойной стержневой обмотке число стержней равно $2\times Z$.

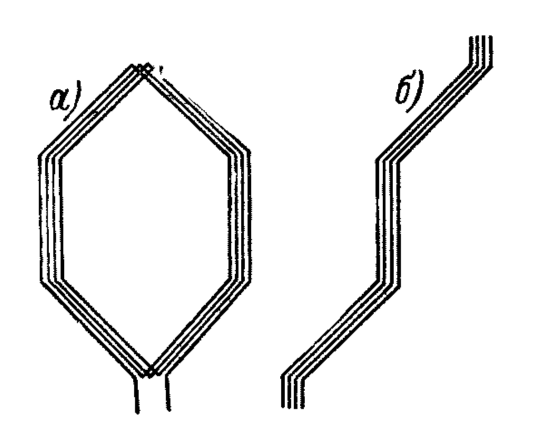


Рис. 2–60. Катушка из четырех витков (*а*); полукатушка из четырех параллельных проводников (*б*).

Широкое распространение двухслойных обмоток в практике электромашиностроительных заводов объясняется тем, что они позволяют упростить и удешевить процесс изготовления и укладки катушек. Действительно, для изготовления этих обмоток необходимо сначала изготовить катушки или стержни.

Так как все катушки (стержни) одинаковы (однотипны), то изготовление их носит массовый характер, позволяющий механизировать процесс. Что касается укладки обмотки в пазы, то и в этом отношении двухслойные обмотки имеют преимущества, так как, согласно расчетам, имеются широкие возможности применять открытые пазы, что позволяет ограничиться простой вкладкой в них катушек. Распространению этих обмоток особенно способствовало применение дробных обмоток, т. е. обмоток с дробным число пазов на полюс и фазу. В производственном отношении двухслойные обмотки позволяют использовать один и тот же штамп стали статора или ротора на разное число полюсов, что в значительной мере упрощает штамповочное хозяйство завода.

б. Двухслойные обмотки с диаметральным шагом.

Как и в однослойных обмотках, фазная зона двухслойных обмоток занимает на статоре 60 эл. градусов. Возьмем для примера двухполюсную машину и рассмотрим выполнение двухслойной обмотки. Пусть на рис. 2–61 внутренний пояс обозначает верхние стороны катушек, а наружный – нижние. Разобьем статор на шесть равных сегментов, центральный угол которых будет при этом равен 60 эл. градусов. Заложим верхние стороны катушек на участке Iн, тогда при диаметральном шаге катушек нижние стороны их займут участок Iк, который расположен от участка Iн на расстоянии полюсного деления τ. Укладывая таким образом катушки, мы получим катушечную группу I фазы I. Катушечная группа фазы II должна быть расположена со сдвигом на $\frac{2}{3}$ τ. Поэтому, располагая верхние стороны катушек на участке Iн, а нижние на участке IIк, получим катушечную группу II фазы II; катушечная группа фазы III должна быть расположена со сдвигом на $\frac{2}{3}$ τ от катушечной группы фазы II и на $^{4}/_{3}$ τ от катушечной группы фазы I. Располагая верхние стороны катушек на участке IIIн, а нижние – на участке IIIк, получим катушечную группу III фазы III. Из рис. 2–61 видно, что если в фазе взять по одной катушечной группе, то пазы статора заполняются только наполовину, так как в двухслойной обмотке сторона катушки занимает только половину паза.

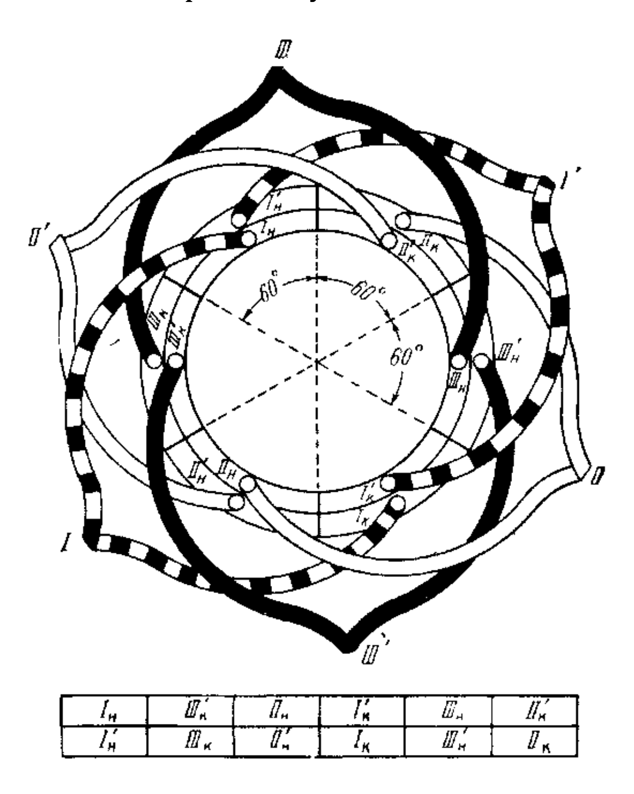


Рис. 2–61. Расположение сторон катушек двухслойной обмотки с диаметральным шагом.

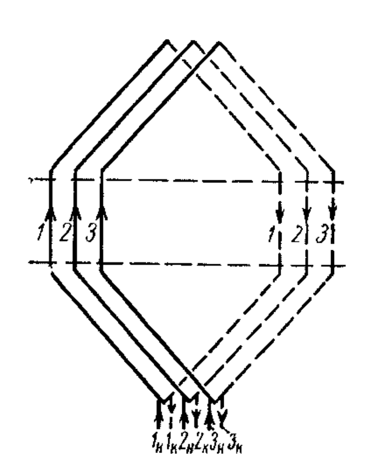


Рис. 2–62. Несоединенная катушечная группа.

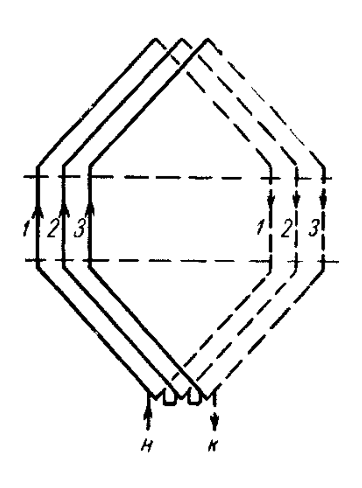


Рис. 2–63. Соединенная катушечная группа.

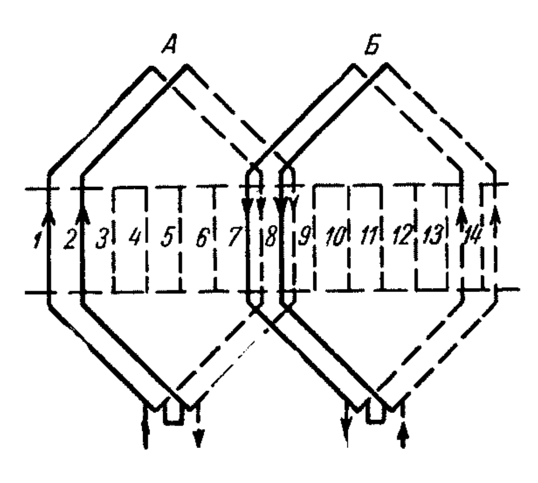


Рис. 2–64. Соединенные катушечные группы одной фазы при диаметральном шаге катушки.

Чтобы пазы статора были использованы полностью, надо число катушечных групп в фазе увеличить в два раза. Для лучшего использования магнитного потока вторые катушечные группы следует расположить по пазам таким образом, чтобы катушки катушечных групп одной и той же фазы лежали в одних и тех же пазах. В этом случае э. д. с. этих групп будет совпадать по фазе, так же как и их м. д. с. Фазные участки, где лежат стороны катушек вторых катушечных групп, обозначены на рис. 2–61 через I'д, I'к, II'н, II'к, III'н и III'к. Теперь возникает вопрос, на каких из этих участков будут находиться начала и на каких концы катушечных групп. Стороны катушек вторых катушечных групп располагаются в тех же пазах, что и стороны катушек первых катушечных групп. Поэтому, если, например, стороны катушек группы I на участке Iн условились считать за начало, то и стороны катушек второй катушечной группы I'н, лежащей на этом же участке статора, также будут началом. Поступая таким же образом в отношении всех остальных сторон катушек вторых катушечных групп, получим распределение, которое указано на рис. 2–61. Это распределение сторон катушек отличается от распределения сторон катушек однослойной обмотки только тем, что при том же распределении фазных участков в одном случае пазы заполняются двумя сторонами, а в другом – одной стороной. *Поэтому двухслойные обмотки с диаметральным шагом катушек в электрическом и магнитном отношениях ничем не отличаются от однослойных обмоток со сплошными фазными зонами.* Предположим, что каждая катушечная группа имеет по три катушки, которые обычно соединяются между собой последовательно. Так как катушка чаще имеет несколько последовательно соединенных витков, то ее изображаем в виде замкнутого витка с двумя выступающими концами (рис. 2–62). Верхние концы назовем началами 1н, 2н и 3н а нижние – концами 1к, 2к и 3к. Соединив 1к с 2н, 2к с 3н образуем катушечную группу с последовательным соединением катушек (рис. 2–63). Рассмотрим теперь, как нужно соединить между собой катушечные группы одной фазы. Обозначим через А катушечную группу, которая лежит на участках Iн – Iк (рис. 2–61), а через Б катушечную группу, которая лежит на участках I'н – I'к. Будем считать, что каждая катушечная группа состоит из двух катушек. Обозначим пазы участка Iн через 1, 2, тогда при диаметральном шаге катушек номера пазов участка Iк, а также участка I'к будут 7 и 8. Расположение катушечных групп А и Б изображено на рис. 2–64. Предположим, что в рассматриваемый момент времени э. д. с. в катушечных сторонах пазов 1 и 2 имеет направление, обозначенное на рис. 2–64. Тогда э. д. с. в сторонах пазов 7 и 8 будет иметь противоположное направление. Поэтому, если мы соединим между собой верхние концы сторон пазов 1 и 7, а потом нижние – пазов 8 и 14 (рис. 2–64), то на зажимах двух катушечных групп напряжение будет равно нулю.

Такое неправильное соединение показано на рис. 2–65. Если такую обмотку использовать в виде статорной обмотки асинхронного двигателя, т. е. включить в сеть переменного тока, то в верхних проводниках пазов ток будет иметь направление, противоположное току нижних проводников. В результате этого м. д. с. катушечных групп будут действовать навстречу друг другу, и вращающееся магнитное поле станет равно нулю. В связи с этим э. д. с. обмотки будет равна нулю, и приложенное напряжение сети будет уравновешиваться только за счет падения напряжения в активном и реактивном сопротивлениях обмотки. Обычно эти сопротивления малы, вследствие чего ток в обмотке получается настолько большим, что обмотка может сгореть. На рис. 2–66 и 2–67 показаны последовательное и параллельное соединения катушечных групп А и Б. Более подробно об этом будет сказано ниже.

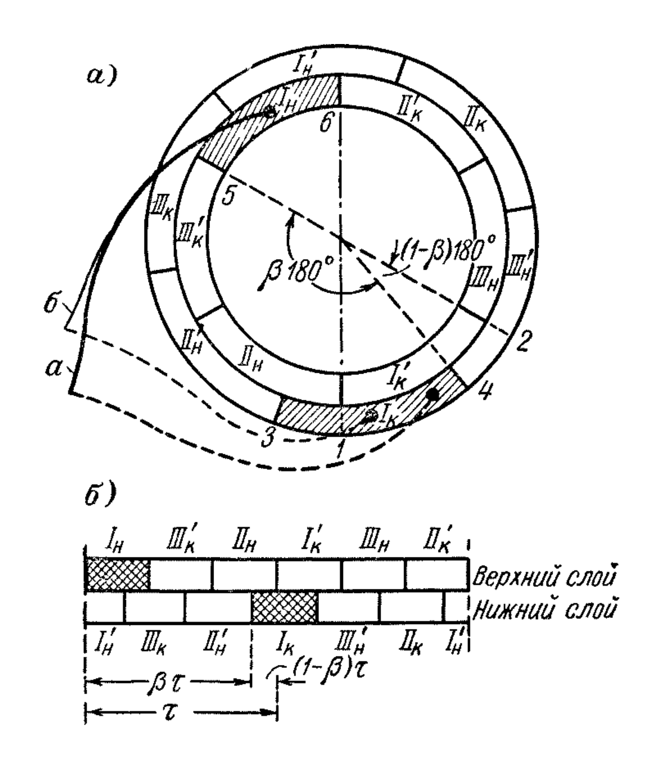


Рис. 2–68. Распределение фазных участков двухслойной обмотки при диаметральном и укороченном шагах.

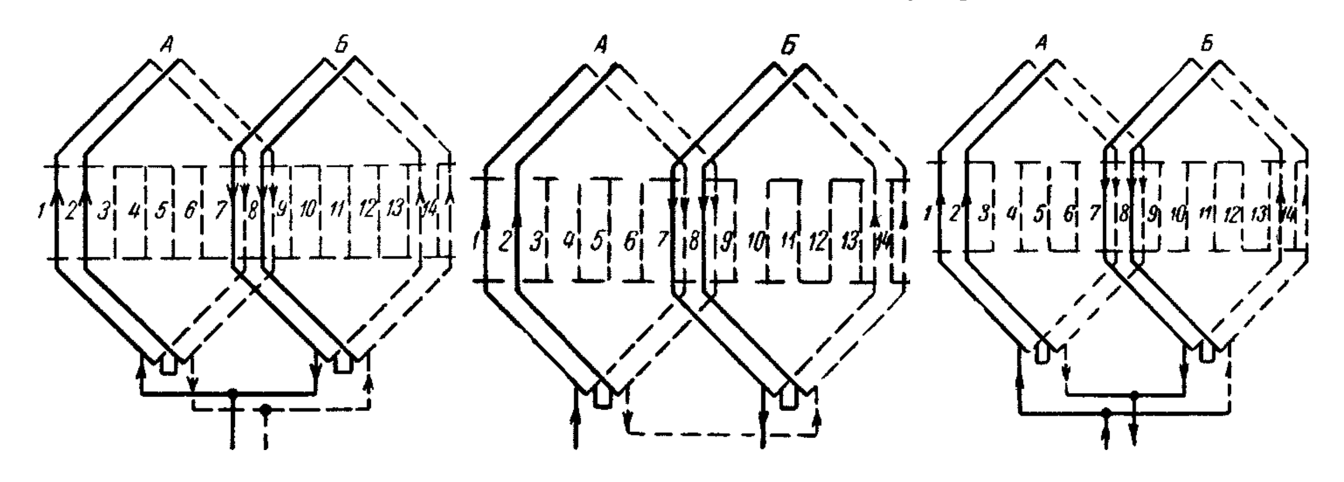


Рис. 2–65. Неправильное соединение двух соседних катушечных групп.

Рис. 2–66. Последовательное соединение двух соседних катушечных групп.

Рис. 2–67. Параллельное соединение двух соседних катушечных групп.

в. Двухслойные обмотки с укороченным шагом.

Как мы видели выше, двухслойные обмотки с диаметральным шагом в электрическом и магнитном отношениях ничем не отличаются от однослойных обмоток со сплошными фазными зонами. При несинусоидальном распределении магнитного потока э. д. с. будет также несинусоидальной. Результирующая кривая м. д. с. будет значительно отличаться от синусоидальной кривой, вследствие чего и магнитный поток, создаваемый обмоткой, будет несинусоидальным. Исходя из этого, в практике электромашиностроительных заводов двухслойная обмотка с диаметральным шагом почти совсем не применяется. Наоборот, двухслойные обмотки с укороченным шагом получили большое распространение. То обстоятельство, что они позволяют легко получить почти любое укорочение шага, и явилось одной из причин их широкого применения.

На рис. 2–68, *а* показано распределение фазных участков при диаметральном и укороченном шагах катушек. Если верхние стороны катушек поместить на одном и том же участке обмотки – между точками 5 и 6, то при диаметральном шаге катушек нижние стороны расположатся на диаметрально противоположном участке – между точками 1 и 2. Лобовые части катушек в этом случае определятся кривыми *а*. При укороченном шаге катушек участок 3–4, где располагаются их нижние стороны, будет находиться ближе к участку 5–6, а лобовые части *б* катушек будут короче. На рисунке участки, на которых располагаются стороны катушек с укороченным шагом, заштрихованы. При диаметральном шаге катушек расстояние между фазными участками 5–6 и 1–2 было равно полюсному шагу τ или 180 эл. градусам; при укороченном шаге расстояние между фазными участками 5–6 и 3–4 уменьшается и становится равными βτ или β180 эл. градусов, где β = b/τ сокращение шага, b – ширина катушки (рис. 2–68 *б*). Если сопоставить рис. 2–61 и 2–68 *с* рис. 2–22, то можно прийти к заключению, что стороны катушек одного слоя двухслойных обмоток, независимо от ширины катушек, располагаются так же, как стороны катушек однослойных обмоток со сплошными фазными участками. Поэтому при одинаковых магнитных полях ротора в проводниках верхних и нижних слоев двухслойных обмоток будут индуктироваться э. д. с, одинаковые по величине и изменению во времени с э. д. с. однослойных обмоток со сплошными фазными участками. То же самое можно сказать и относительно м. д. с. – при одинаковых токах и числах проводников в пазах кривые м. д. с. слоя двухслойных обмоток и однослойной обмотки будут одинаковыми. Таким образом, двухслойная обмотка представляет собой две однослойные обмотки со сплошными фазными зонами. При диаметральном шаге катушек эти однослойные обмотки располагаются одна над другой без всякого сдвига по отношению друг к другу, а при укороченном шаге со сдвигом, равным (1 – β) τ или (1 – β) × 180 эл. градусов (рис. 2–68). Предположим, что ротор синхронного генератора создает магнитное поле, которое мы можем заменить двумя синусоидальными полями (кривая 1 и кривая 2, рис. 2–69, *в*). Полюсный шаг первого поля соответствует τ, а второго поля ⅕τ, т. е. первое поле является первой, а второе – пятой гармоникой поля ротора. Рассмотрим, какое влияние на э. д. с. окажет сокращение шага катушек. На рис. 2–69, *а* изображено распределение фазных зон при диаметральном шаге, а на рис. 2–69, *д* – при укороченном. На рис. 2–69, *б* показаны катушки фазы III, причем стороны 1–1’, 2–2’ и 3–3’ относятся к катушкам с диаметральным шагом, а стороны 1–1’’, 2–2’’ и 3–3’’ – к катушкам с укороченным шагом. Так как расположение верхних сторон катушек не изменяется, то в них будут индуктироваться одни и те же э. д. с. и при диаметральном и при укороченном шагах. Нижние стороны катушек, наоборот, изменяют свое расположение. При диаметральном шаге нижние стороны попадают в те же магнитные условия, что и верхние, изменяется только полярность полюсов. Поэтому э. д. с. отдельных катушек будет в два раза больше э. д. с. сторон. Так как э. д. с. стороны будет содержать в себе пятую гармонику, то и э. д. с. катушек и всей фазы будут содержать пятую гармонику (рис. 2–69, *г*). При укороченном шаге (рис. 2–69, *е*) нижние стороны 1’’, 2’’ и 3’’ попадают в другие магнитные условия, чем стороны 1, 2 и 3. Так, например, во второй катушке стороны 2 и 2’’, попадают под полюсы пятой гармоники одинаковой полярности, и поэтому э. д. с. от пятой гармоники поля ротора будет близкой к нулю. То же самое можно заметить и при других положениях ротора (положения 2, 3, рис. 2–69, *е*). Таким образом, применением укороченного шага катушки мы достигаем того, что при несинусоидальном распределении магнитного потока кривая напряжения получается более близкой к синусоидальной, чем при обмотках с диаметральным шагом.

На рис. 2–69 мы рассмотрели только частный случай, когда кривую действительного распределения магнитного потока можно заменить двумя синусоидальными кривыми – кривой 1 и кривой 2. Чаще в машинах магнитный поток распределяется по более сложной кривой, которую можно заменить суммой не двух, а многих синусоидальных кривых.

Так, на рис. 2–70 изображена кривая 2 действительного распределения магнитного потока, которую в основном можно заменить суммой трех синусоидальных кривых, 1, 3, 4. Из рисунка видно, что при диаметральном шаге катушки напряжение на ее зажимах будет изменяться по кривой 2; если же сделать шаг укороченным и равным 6, то кривая напряжения приблизится к синусоиде, так как магнитный поток, изображенный кривой 4, не будет индуктировать э. д. с, потому что в любом положении катушки этот магнитный поток, проходящий через нее, равен нулю. Магнитный поток кривой 3 будет индуктировать очень незначительную э. д. с, так как действует только небольшая его часть. В отношении образования магнитного потока обмотки с укороченным шагом также имеют преимущества перед обмотками с диаметральным шагом. На рис. 2–71 изображено распределение активных сторон катушек двухслойной обмотки с укороченным шагом и q = 3. Так как стороны верхнего и нижнего слоев распределяются так же, как стороны однослойной обмотки, кривые м. д. с. слоев при тех же мгновенных значениях фазных токов будут иметь вид кривой результирующей м. д. с. При диаметральном шаге катушек кривые м. д. с. слоев располагаются относительно обмотки одинаково, и поэтому кривая результирующей м. д. с. имеет тот же вид, что и кривая м. д. с. слоев.

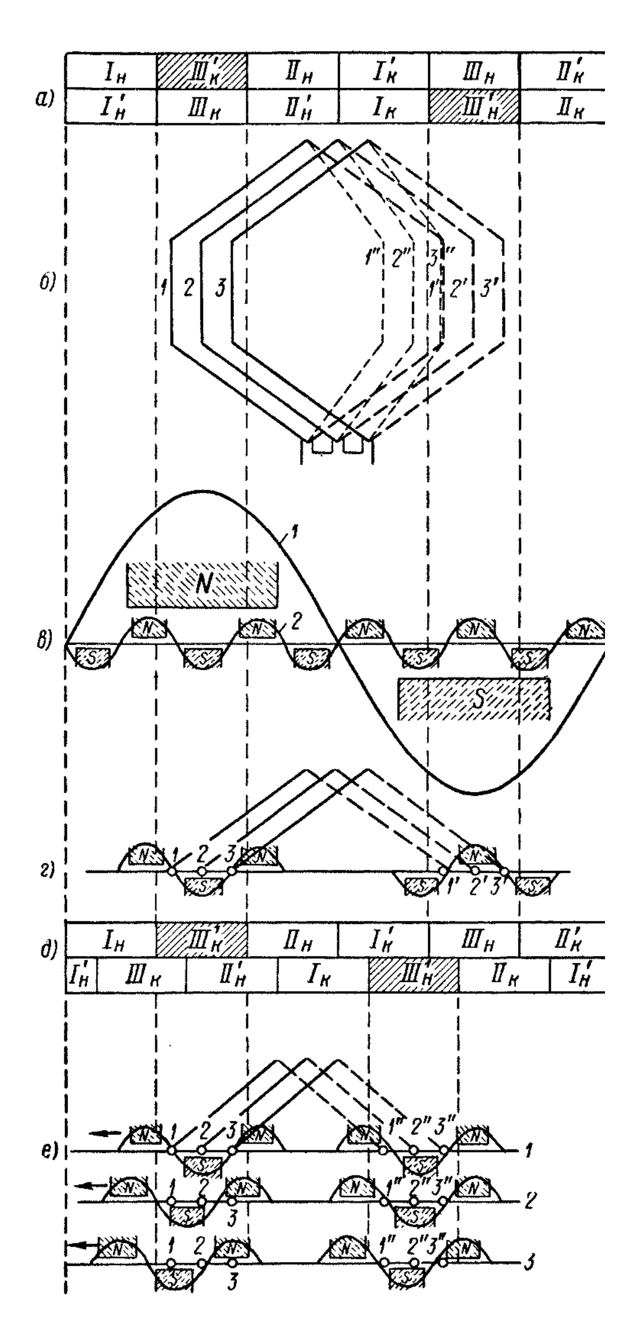


Рис. 2–69. Влияние укорочения шага катушки на кривую напряжения.

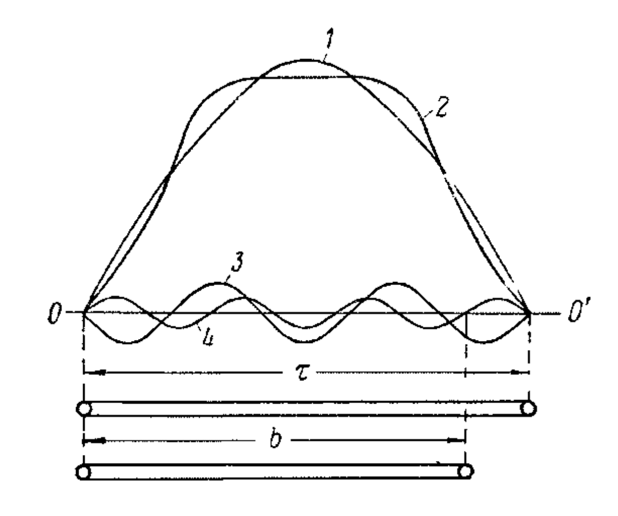


Рис. 2–70. Влияние укорочения шага катушки на кривую напряжения при более сложной кривой магнитного потока.

При сокращенном шаге катушек кривые м. д. с. слоев оказываются сдвинутыми на (1 – β)180°, и поэтому кривая результирующей м. д. с. будет иметь другой вид – она будет более синусоидальной (рис. 2–71). Предположим, что кривая м. д. с. верхнего слоя обмотки не синусоидальна и имеет вид 1 (рис. 2–72). Пусть кривая 2 является основной гармоникой, а кривая 3 – наиболее сильно выраженной высшей гармоникой м. д. с. верхнего слоя.

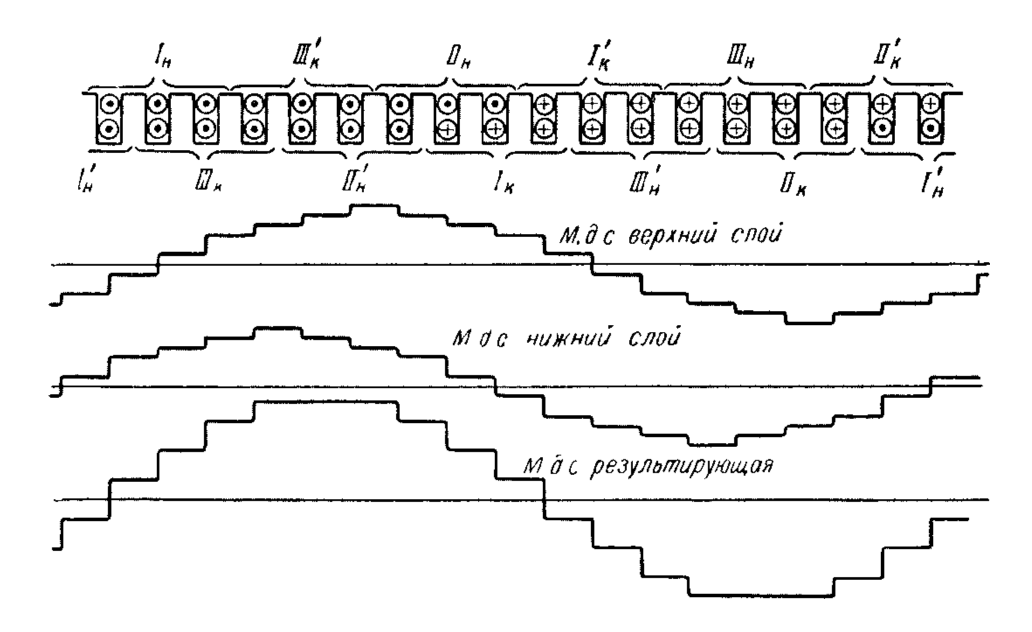


Рис. 2–71. Влияние укорочения шага обмотки на м. д. с. обмотки.

Ввиду того, что распределение тока по нижнему слою такое же, как и по верхнему, кривые м. д. с. этих слоев будут одинаковы.

На рис. 2–72 м. д. с. нижнего слоя изображена кривой 4, а основная и наиболее сильно выраженная высшая гармоника – кривыми 5 и 6. Так как м. д. с. слоев действуют в одной и той же магнитной цепи, то, складывая кривые м. д. с. верхнего и нижнего слоев, получим результирующую м. д. с. обмотки – кривая 7. Рисунок показывает, что эта кривая более синусоидальная, чем кривая 1 или 4, сдвиг нижнего слоя по отношению к верхнему, т. е. ширина катушек, выбраны так, что кривая 5 оказывается сдвинутой по отношению к кривой 2 на ширину одного полюсного шага высшей гармоники, вследствие чего в результирующей м. д. с. высшая гармоника пропадает, так как м. д. с. – кривая S и м. д. с. ––кривая 6 равны и действуют навстречу друг другу. Если бы обмотка имела диаметральный шаг, кривая 6 совпадала бы по расположению с кривой 3 и высшая гармоника в кривой результирующей м. д с была бы вдвое больше высшей гармоники одного слоя. Таким образом, путем сокращения шага катушек можно вести борьбу с той или иной нежелательной высшей гармоникой и получать более синусоидальное распределение м. д. с. и магнитного поля обмотки. В кривой м. д. с. одного слоя обмотки наиболее сильно выражена пятая гармоника, ширина полюсного шага которой в пять раз меньше шага основной гармоники Поэтому для ее уничтожения надо взять сокращение шага катушек равным, $\beta = \frac{4}{5}$, в этом случае нижний слой обмотки будет смещен относительно верхнего слоя на ширину одного полюсного шага пятой гармоники (рис. 2–72). Так как при диаметральном шаге катушек ширина катушки равна $b = 3q$, где q – число пазов на полюс и фазу, то для уничтожения наиболее сильно выраженной высшей гармоники (пятой) нужно ширину катушки брать по возможности равной или близкой к $b' = \beta b = \frac{4}{5}3q = \frac{12}{5}q$. Таким образом, рекомендуется: для $q = 2b' = \frac{12}{5} \times 2 = 4{,}8 \approx 5$ шаг из первого в шестой паз; для $q = 3b' = \frac{12}{5} \times 3 = 7{,}2 \approx 7$ шаг из первого в восьмой паз; для $q = 4b' = \frac{12}{5} \times 4 = 9{,}6 \approx 10$ шаг из первого в одиннадцатый паз. При $2p = 2$ рекомендуется брать $\beta = \frac{2}{3}$. Выше мы говорили, что укороченный шаг по сравнению с диаметральным уменьшает э. д. с. Поэтому для получения одной и той же э. д. с. нужно увеличить число витков в фазе, т. е. увеличить число витков каждой катушки. *Отношение э. д. с. катушки при укороченном шаге к а. д. с. катушки с тем же числом витков при диаметральном шаге называют обмоточным коэффициентом укорочения* f_β. Этот коэффициент всегда меньше единицы и зависит от степени укорочения шага. Он равен $sin\beta 90°$.

Обмоточный коэффициент укорочения в указанных случаях будет:

q = 2 и b/τ = 5/6; f_β = 0,966
q = 3 и b/τ = 7/9; f_β = 0,945
q = 4 и b/τ = 10/12 = 5/6; f_β = 0,966
q = 5 и b/τ = 12/15 = 4/5; f_β = 0,966
q = 6 и b/τ = 15/18 = 5/6; f_β = 0,966
q = 7 и b/τ = 17/21; f_β = 0,957

Отсюда мы видим, что уменьшение э. д. с. при укорочении шага до 0,8 достигает приблизительно 5%. Если бы длина витка оставались той же, что и катушки с диаметральным шагом, то вес меди обмотки увеличился бы приблизительно на 5%. Ниже будет показано, что с укорочением шага катушки длина лобовых частей обмотки уменьшается, так что в результате расход меди на обмотку уменьшается примерно на 10–15%. К другим преимуществам двухслойной обмотки с укороченным штагом следует отнести уменьшение индуктивного сопротивления обмотки. Известно, что вокруг каждого проводника, по которому протекает электрический ток, образуется магнитное поле. При изменении тока во времени (переменный ток) меняется и магнитный поток, окружающий проводник, вследствие чего в последнем будет индуктироваться э. д. с. самоиндукции. *Э. д. с. самоиндукции, деленная на ток, называется индуктивным сопротивлением.* Если взять две катушки с одинаковым числом витков: одну с диаметральным шагом, а другую с укороченным, то при одном и том же токе индуктивное сопротивление катушки с укороченным шагом будет меньше, так как длина ее витка будет короче, т. е. меньше будет магнитный поток, сцепленный с лобовыми частями катушки. Кроме того, при укороченном шаге катушки будет уменьшаться индуктивное сопротивление и активной части катушки, т. е. уложенной в пазы. Дело в том, что, как мы увидим ниже, при укороченных катушках в некоторых пазах по верхним и нижним проводникам паза протекает ток различных фаз, в то время как при диаметральных катушках проводники каждого паза принадлежат одной какой–нибудь фазе. Это приводит к тому, что общий объем тока паза (сумма произведений из мгновенных значений тока на число проводников верхнего и нижнего слоев) будет меньше, что повлечет за собой уменьшение магнитного потока, вызываемого этим током. Меньшее индуктивное сопротивление во многих случаях благоприятно влияет на эксплуатационные свойства машины.

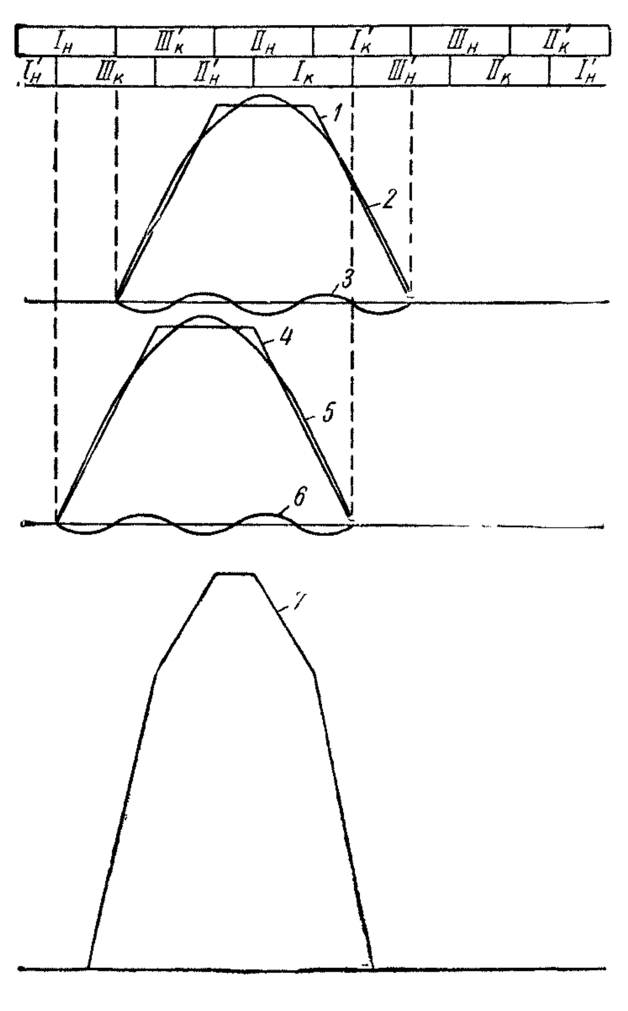


Рис. 2–72.

г. Схемы двухслойных обмоток.

На рис. 2–73 показано распределение фазных участков и изображена полная схема обмотки в развернутом виде для двухполюсной машины, имеющей 18 пазов:

$$q = \frac{Z}{2p \times m} = \frac{18}{2 \times 3} = 3$$

Шаг обмотки равен семи (1–8), т. е. ширина катушки b взята равной семи.
Полюсный шаг, выраженный в пазах: $\tau = Z/2p$ = 18/2 = 9. Таким образом, изображенная на рисунке обмотка имеет укороченный шаг, причем укорочение: β = b/7 = 7/9. Так как q = 3, то на каждую фазную зону (участок) статора будет приходиться по три паза. Поступая согласно рис. 2–68, помещаем верхние стороны 1, 2, 3 на участке Iн; тогда нижние стороны этих катушек займут нижние половины пазов 8, 9 и 10. Стороны 8, 9 и 10 образуют участок Iн. Таким образом, одна катушечная группа фазы I будет занимать верх пазов 1, 2 и 5, а нижние стороны – низ пазов 8, 9 и 10.

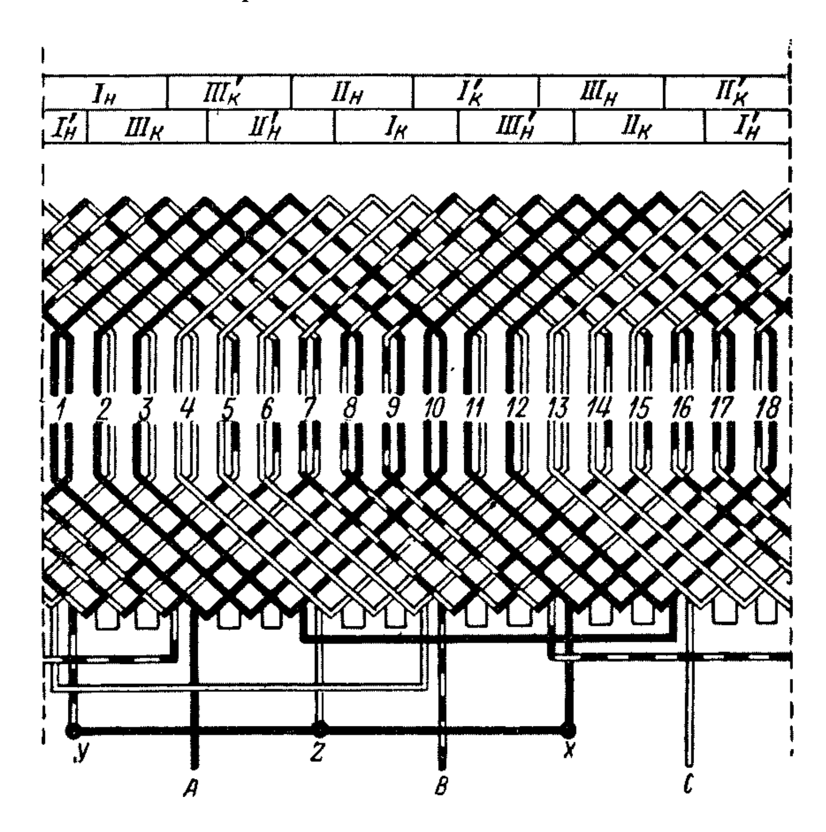


Рис. 2–73. Схемы трехфазной двухслойной обмотки:
$2p$ = 2, τ = 3, q = 3, Z = 18.

Пропустив две фазные зоны IIIк и IIн, т. е. $2q$ = 2 × 3 = 6 пазов, находим фазную зону той же фазы, где будут лежать верхние стороны другой катушечной группы. Номера сторон или пазов, очевидно, будут равны:

1 + τ = 1 + 9 = 10;   2 + τ = 2 + 9 = 11;   3 + τ = 3 + 9 = 12.

Нижние стороны катушек второй катушечной группы займут пазы, номера которых будут равны:

10 + b = 10+7 = 17;   11 + b = 11 + 7 = 18;
12 + b = 12 + 7 = 19(1)   (так как всего только 18 пазов).

Предположим, что число ветвей a = 1, т. е. все катушечные группы фазы соединяются последовательно. Пользуясь рис. 2–66, производим соединение, показанное на рис. 2–73.

д. Упрощенные схемы.

Чтобы облегчить составление схем и пользование ими при намотке статоров постараемся упростить процесс нахождения катушечных групп той или иной фазы и их начал и концов. К этому можно подойти, исходя не из принципиальной схемы, т. е. Из распределения фазных зон, а из процесса укладки обмотки. Дело в том, что обычно обмотчик закладывает в пазы все катушки подряд, не интересуясь, к какой фазе она принадлежит. Так как каждая катушка имеет верхний и нижний концы, то после укладки катушек мы будем иметь Z свободных верхних и Z свободных нижних концов, где Z равно числу пазов и числу катушек. Причем эти концы всегда расположатся чередуясь (рис. 2–62). Так как в каждую катушечную группу включается последовательно q соседних катушек, то, соединяя таким же образом все катушки (рис. 2–63), получим схему, изображенную на рис. 2–74 с Z/q катушечными группами, Z/q свободными верхними и Z/q свободными нижними концами. При этом, как и в первом случае, верхние и нижние концы будут чередоваться. Так как Z = $2pmq$, где Z – число катушек или пазов, $2p$ – число полюсов, m– число фаз, q – число пазов на полюс и фазу, то число катушечных групп будет: $Z/q = 2pmq/q = 2pm$. Отсюда заключаем, что число и расположение верхних и нижних концов совершенно не зависят ни от числа катушек в катушечных группах, ни от шага катушек. Таким образом, основным схемным элементом обмотки является катушечная группа. В каждую фазу включаются катушечные группы, расположенные по статору через две группы (рис. 2–74), так как в фазу мы должны включать катушечные группы, находящиеся друг от друга на расстоянии полюсного шага τ, или на 180 эл. градусов. Если условиться, что катушечная группа 1 (рис. 2–74) принадлежит фазе I, то другие группы той же фазы в общем случае будут иметь номера, отличающиеся на 3, а именно: 1, 4, 7, 10, 13, 16 и т. д. Во вторую фазу включаем катушечные группы, смещенные от катушечных групп фазы I на ⅔ τ, или на 120 эл. градусов.

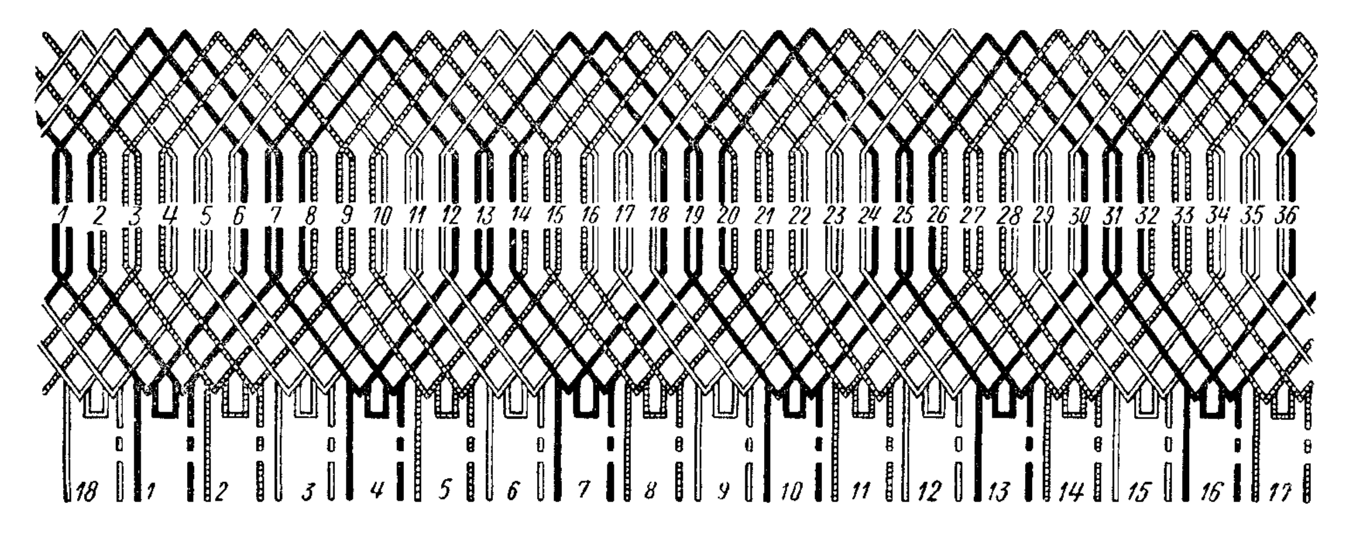


Рис. 2–74. Распределение катушечных групп трехфазной двухслойной обмотки.

Так как ширина фазного участка равна 60, эл. градусов, номера катушечных групп фазы II будут отличаться от номеров катушечных групп фазы I на 2, т. е. будут иметь номера: 3, 6, 9, 12, 15 и т. д. Номера катушечных групп фазы III будут отличаться на 2 от номеров групп фазы II, т. е. будут иметь номера: 5, 8, 11, 14, 17 и т. д. Чтобы не вычерчивать каждый раз катушечные группы (рис. 2–75, *а*), в дальнейшем будем их изображать, как показано на рис. 2–75, *б*. Левый прямоугольник условно обозначает фазный участок, на котором находятся верхние стороны катушек одной катушечной группы, а правый – фазный участок, на котором расположены нижние стороны катушек той же катушечной группы.

Пунктирная прямая *аб* условно изображает лобовые части катушек катушечной группы. Номера, поставленные в прямоугольниках, соответствуют номерам катушечных групп: правый – верхние стороны и выводной конец (начало группы), левый – нижние стороны и второй выводной конец. Условное изображение катушечных групп и их выводных концов обмотки шестиполюсной машины приведено на рис. 2–76. Если верхний выводной конец первой катушечной группы фазы I принять за начало (в электрическом отношении), то нижний вывод будет концом, т. е. если в верхних сторонах катушек группы ток или э. д. с. имеют одно направление, то в нижних сторонах они будут иметь противоположное направление. Поэтому, если условиться считать направление тока или э. д. с. в первой катушечной группе от верхнего конца к нижнему, согласно показанной стрелке (рис. 2–76), то направление тока или э. д. с. во всех нечетных катушечных группах будет таким же, как в первой, а в четных группах – противоположным. Для катушечных групп фаз II и III условимся считать направление тока или э. д. с. таким же, как и в группах фазы I. Так как соединение катушечных групп в фазах должно быть одинаковым, то в дальнейшем катушечные группы трех фаз будем изображать согласно рис. 2–77. В первом горизонтальном ряду расположены первые или исходные катушечные группы 1, 3 и 5 всех трех фаз, сдвинутые между собой на ⅔τ. Число катушечных групп в фазе, как было сказано выше, равно числу полюсов. Поэтому упрощенная схема, изображенная на рис. 2–77, соответствует шестиполюсной машине.

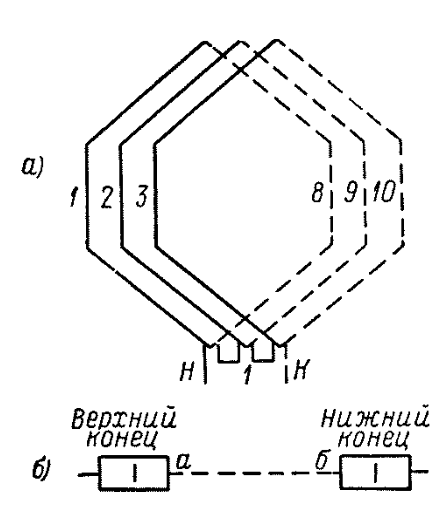


Рис. 2–75. Катушечная группа упрощенной схемы.

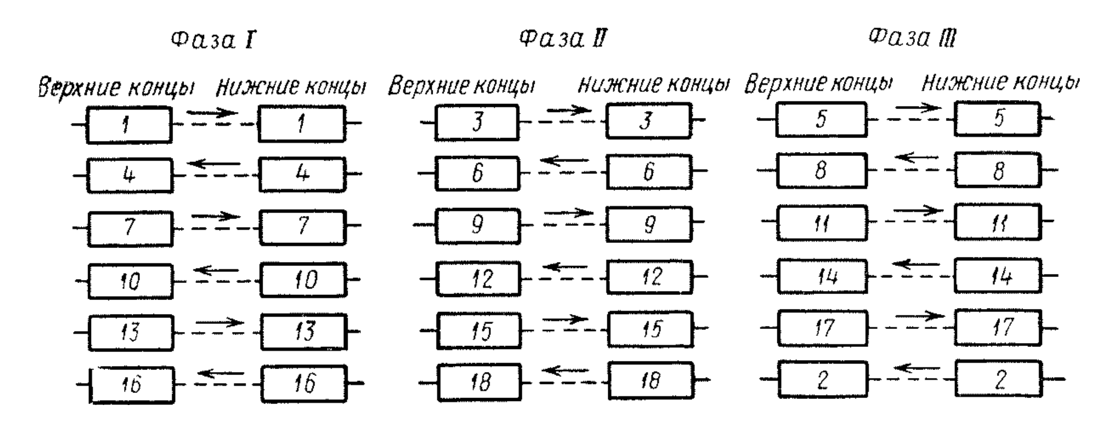


Рис. 2–76. Изображение катушечных групп трехфазной двухслойной обмотки, $2p = 6$.

Верхние концы Фаза I	Фаза II	Фаза III		Нижние концы Фаза I	Фаза II	Фаза III
1	3	5	→	1	3	5
4	6	8	←	4	6	8
7	9	11	→	7	9	11
10	12	14	←	10	12	14
13	15	17	→	13	15	17
16	18	2	←	16	18	2

Рис. 2–77. Другой способ изображения катушечных групп трехфазной двухслойной обмотки $2p = 6$.

Рассматривая рис. 2–76 и 2–77, мы видим, что в упрощенной схеме номера катушечных групп отличаются: по горизонтали на 2 и по вертикали на 3, что может служить проверкой при производстве обмоток. Номера концов последних катушечных групп зависят от числа полюсов машины. Номера концов этих катушечных групп будут:

для фазы I ...3 × 2*p* – 2, для фазы II ...3 × 2p, для фазы III ...2

например для машины 2*p* = 12:
для фазы I ...3 × 12 – 2 = 34, для фазы II ...3 × 12 = 36, для фазы III ...2

для машины 2*p* = 6 (рис. 2–77):
для фазы I ...3 × 6 – 2 = 16, для фазы II ...3 × 6 = 18, для фазы III ...2

е. Соединение катушечных групп.

Способ соединения катушечных групп фазы определяется при расчете машины. В общем случае они могут быть соединены или все последовательно или все параллельно, либо же иметь то или иное число параллельных ветвей *a*. Рассмотрим все эти случаи.

Все катушечные группы соединены последовательно (*a* = 1).

На рис. 2–66 было показано последовательное соединение двух соседних катушечных групп. Из этого рисунка видно, что, для того чтобы соединить две соседние катушечные группы фазы последовательно, нужно нижний конец первой катушечной группы соединить с нижним концом второй и верхние концы вывести к зажимам. Здесь необходимо оговорить, что катушечные группы можно соединить и другим способом, а именно: соединить между собой два верхних конца, а нижние – вывести к зажимам. Поэтому важно, чтобы то или иное соединение было выполнено одинаково для всех катушечных групп всех фаз. Для упрощения схемы это соединение показано для двух катушечных групп на рис. 2–78. Если требуется последовательное соединение катушечных групп обмотки восьмиполюсной машины, то мы сначала должны соединить последовательно по две соседние катушечные группы (рис. 2–79), т. е. группы, находящиеся под разноименными полюсами. На рис. 2–80 показано последовательное соединение трех соседних катушечных групп. Зададимся направлением тока или э. д. с. в катушечных группах – одинаковым в группах 1 и 7 и противоположным в группе 4. Тогда при обходе схем от начала к концу для последовательного соединения катушечных групп не должно быть встречного направления. Распространяя такое соединение на всю обмотку, получим окончательную упрощенную схему (Рис. 2–81).

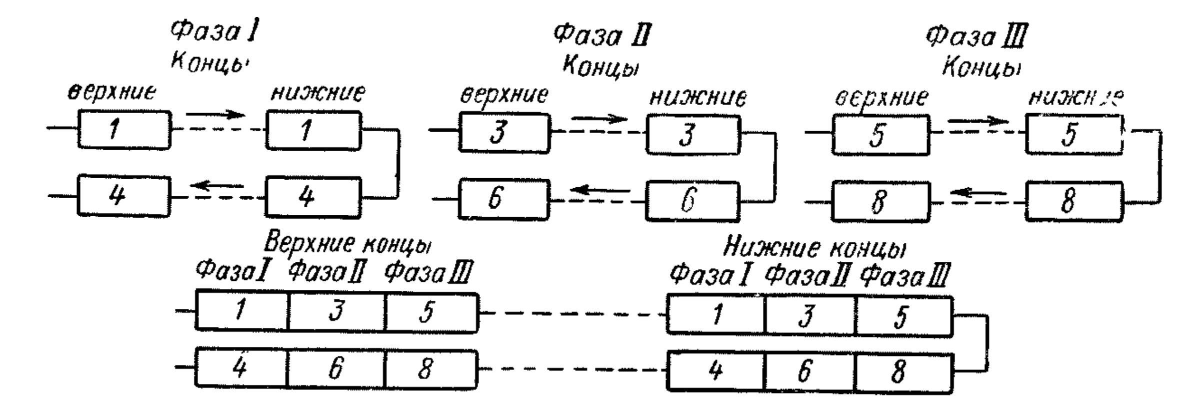


Рис. 2–78. Последовательное соединение двух соседних катушечных групп.

Рис. 2–79. Последовательное соединение катушечных групп, находящихся под разноименными полюсами.

Начала всех фаз обозначаем по ГОСТ 183–66 через С1, С2и С3, а концы – через С4, С5 и С6, считая, что они находятся в коробке зажимов. Для того чтобы соединить обмотку в звезду, нужно соединить между собой концы 22, 24 и 2, а концы 1, 3 и 5 вывести к зажимам или, наоборот, соединить между собой концы 1, 3 и 5, а концы 22, 24 и 2 вывести к зажимам. Если обмотку необходимо соединить в треугольник, то для этого нужно соединить между собой концы 1 и 24, 3 и 2, 5 и 22 и от этих соединений вывести концы к зажимам, или же соединить между собой концы 3 и 22, 5 и 24, 1 и 2 и от этих соединений вывести концы к зажимам. В виде еще одного примера на рис. 2–82 изображена упрощенная схема обмотки шестиполюсной машины. Она отличается от схемы обмотки восьмиполюсной машины только тем, что вместо восьми катушечных групп в фазе стало шесть и соответственно поэтому уменьшилось число концов. Кроме того, мы видим, что число пазов и укорочение шага обмотки никакого влияния на схему не оказывают, что объясняется тем, что мы оперируем не катушками, а катушечными группами. Укорочение шага учитывается при изготовлении катушки и на расположение концов катушечной группы не влияет.

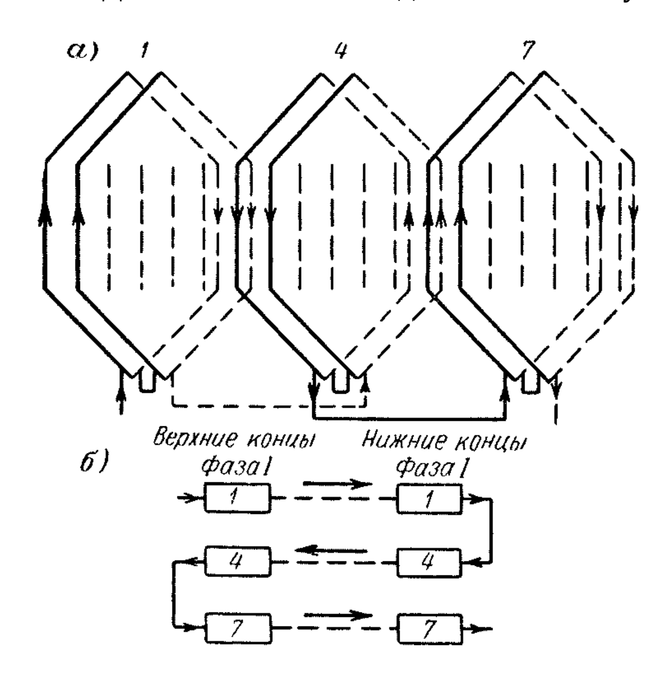


Рис. 2–80. Последовательное соединение трех соседних катушечных групп.

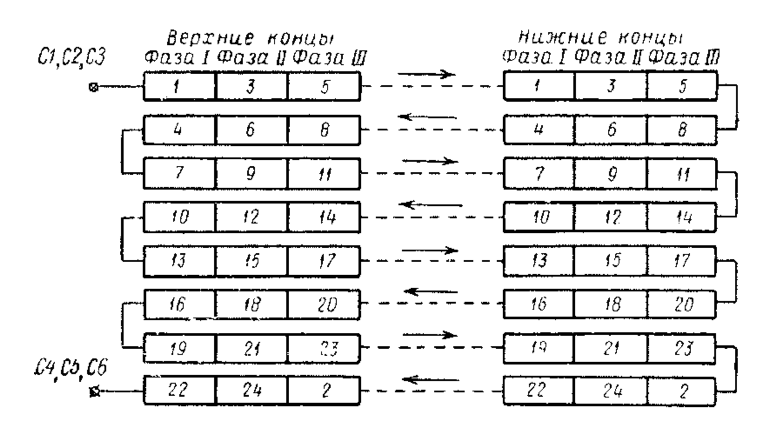


Рис. 2–81. Последовательное соединение всех катушечных групп обмотки $2p = 8$, $m = 3$, $a = 1$.

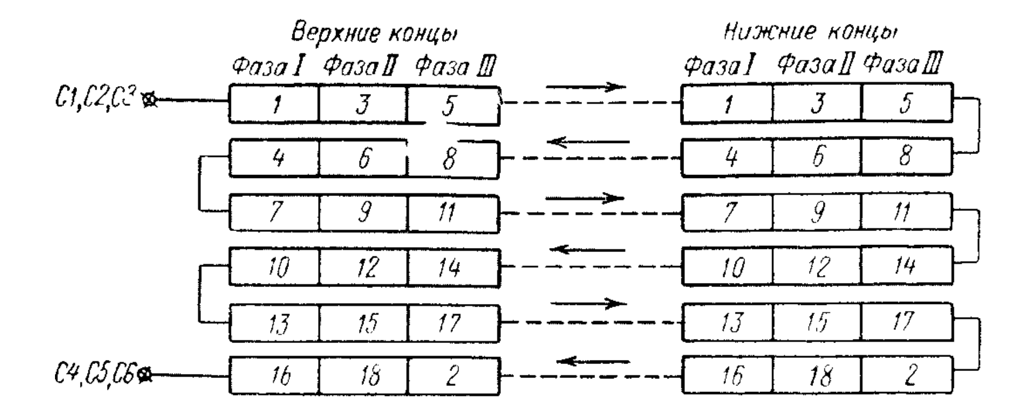


Рис. 2–82. Последовательное соединение всех катушечных групп обмотки $2p = 6$, $m = 3$, $a = 1$.

На рис. 2–83 изображена упрощенная торцовая схема соединения концов катушечных групп обмотки, изображенной на рис. 2–82. При соединении фаз в звезду три конца С4, С5 и С6 нужно соединить между собой.

Все катушечные группы соединены параллельно ($a = 2p$).

Так как двухслойная обмотка в каждой фазе имеет $2p$ катушечных групп, то, соединяя все группы параллельно, получим $2p$ параллельных ветвей ($a = 2p$). На рис. 2–67 и 2–84 показано параллельное соединение двух и трех катушечных групп. Из этих рисунков можно заключить: *для того чтобы соединить все катушечные группы параллельно, нужно к одному зажиму подключить все нечетные верхние концы и все четные нижние, а к другому – все нечетные нижние концы и все четные верхние.* Это вполне понятно, так как все нечетные и четные катушечные группы сдвинуты между собой на 360 эл. градусов. Поэтому все нечетные группы мы должны присоединять одинаково.

Так как четные группы сдвинуты относительно нечетных на 180 эл. градусов (ибо он лежат под другими полюсами), то их необходимо присоединить, меняя местами верхние и нижние концы; при этом все четные катушки также присоединяются одинаково. На рис. 2–85 изображено параллельное соединение всех катушечных групп обмотки восьмиполюсной машины, которую мы рассматривали выше. Таким образом, во всех двухслойных обмотках можно осуществить как последовательное, так и параллельное соединение всех катушечных групп, т. е. получить $a = 1$ и $a = 2p$.

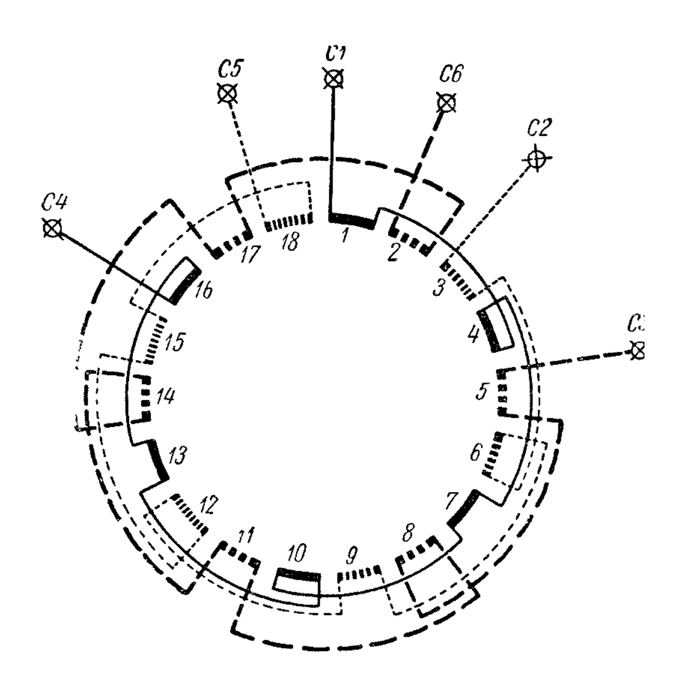


Рис. 2–83. Упрощенная торцовая схема последовательного соединения всех катушечных групп $2p = 6$, $m = 3$, $a = 1$.

Обмотка имеет 2 параллельные ветви (a = 2).

Так как число катушечных групп каждой фазы равно числу полюсов машины 2p, то чтобы сделать две параллельные ветви, мы сначала должны каждые p катушечных групп соединить последовательно в одну ветвь, а затем соединить эти ветви между собой параллельно. Каждую параллельную ветвь можно составлять из соседних катушечных групп, или же, наоборот, катушечные группы фазы можно соединять через одну и таким путем распределять ветвь равномерно по всей обмотке. Первый способ показан на рис. 2–86, второй – на рис. 2–87. Так как число катушечных групп в фазе равно числу полюсов, то отсюда можно сделать заключение, что все двухслойные обмотки могут иметь две параллельные ветви.



Рис. 2–84. Параллельное соединение трех соседних катушечных групп.

Обмотка имеет p параллельных ветвей (a = p)

При a = p в каждой параллельной ветви, очевидно, будет по две последовательно соединенные катушечные группы: $2p/a = 2p/p = 2$

Так как вышеприведенное выражение справедливо при любом значении p, то можно заключить, что все двухслойные обмотки могут иметь p параллельных ветвей.

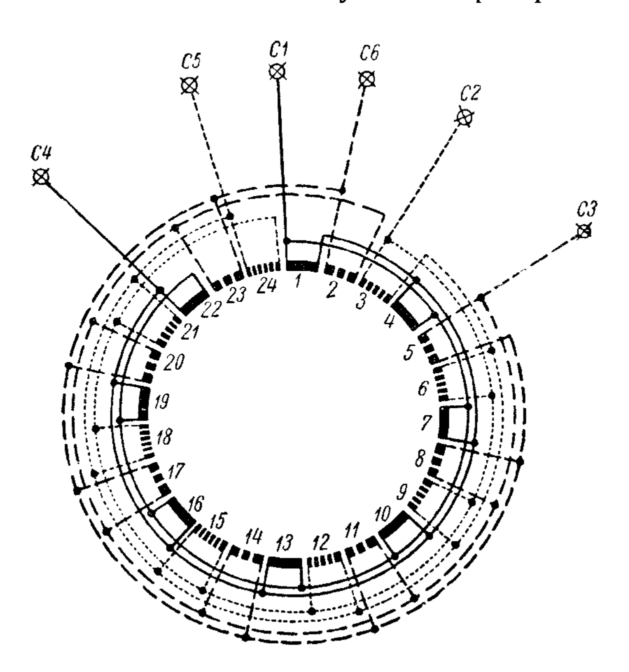


Рис. 2–85. Параллельное соединение всех катушечных групп: 2p = 8, m = 3, a = 2, p = 8.

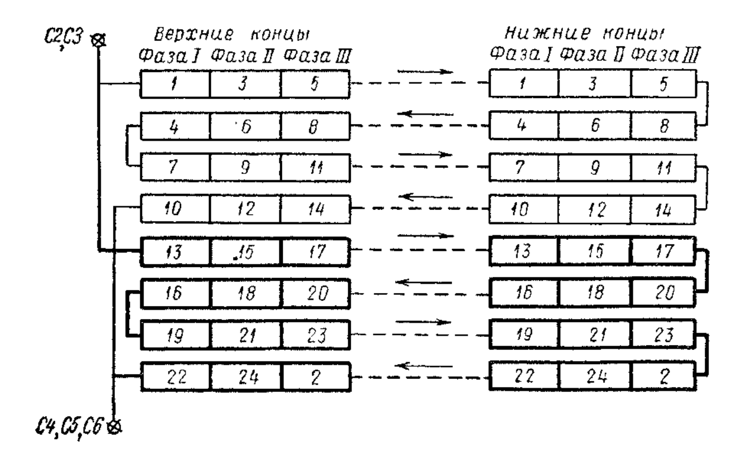


Рис. 2–86. Соединение катушечных групп $2p = 8$, $m = 3$, $a = 2$, первый способ.

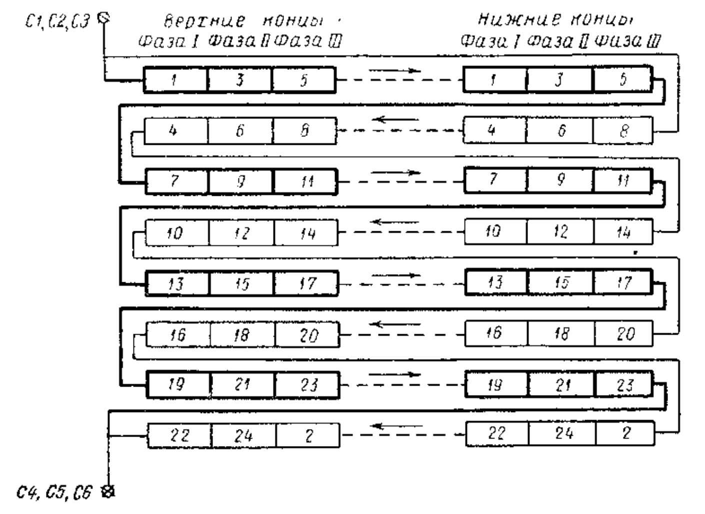


Рис. 2–87. Соединение катушечных групп $2p = 8$, $m = 3$, $a = 2$, второй способ.

2–7. Трехфазные двухслойные обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу.

а. О двухслойных обмотках с дробным q.

Стремление получить синусоидальное напряжение на зажимах синхронных генераторов вызвало широкое применение обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу. Они могут выполняться как однослойными, так и двухслойными. В настоящее время в практике электромашиностроительных заводов однослойные обмотки в синхронных генераторах встречаются редко. В асинхронных двигателях обмотки с дробным q избегают применять вследствие плохой кривой м. д. с. При замене кривой распределения поля ротора синхронного генератора (кривая *C*, рис. 2–3) мы несколько упростили рассмотрение. Если сложить синусоиды 1, 3, 5 и 7, то результирующая кривая *D* не будет в точности совпадать с действительной кривой поля *C*. Нужно прибавить еще целый ряд синусоид с более мелким полюсным шагом для полного совпадения кривых *C* и *D*. Эти синусоидально распределенные поля с небольшим полюсным шагом и большим числом полюсов вращаются со скоростью ротора и пересекают обмотку статора, индуктируя в ней э. д. с. высокой частоты, искажая кривую изменения э. д. с. обмотки во времени.

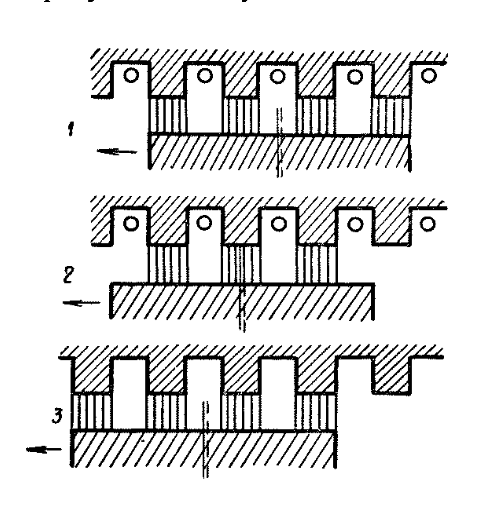


Рис. 2–88. Колебание потока по величине.

Кроме этого, возникают э. д. с. также очень высокой частоты, вызванные зубчатостью статора. Если полюс перекрывает нецелое число зубцовых делений (рис. 2–88), то при вращении ротора число зубцов под полюсом меняется. В связи с этим магнитное сопротивление для потока оказывается непостоянным.

В положении 1 под полюс попало четыре зубца и три паза, а в положении 2 – три зубца и четыре паза. Так как магнитное сопротивление воздушного зазора под зубцом меньше, чем под пазом, магнитное сопротивление потоку полюса в положении 2 будет больше, чем в положении 1. Поэтому при вращении ротора магнитный поток в положении 1 имеет наибольшее значение, в положении 2 – наименьшее, а в положении 3 – опять наибольшее. Таким образом, поток полюса изменяется по величине с большой частотой.

Если полюс ротора перекрывает целое число зубцовых делений (рис. 2–89), то в отличие от предыдущего случая магнитное сопротивление под полюсом остается постоянным, так как во всех положениях полюса под него попадает одинаковое число зубцов и пазов, но зато изменяется положение оси поля полюса. Действительно, в положении 1 ось потока полюса (пунктирная прямая) совпадает с осью полюса (сплошная прямая). При перемещении ротора на $^1/_4$ зубцового деления (положение 2) ось потока переместилась от оси полюса в направлении, противоположном вращению ротора. Таким образом, скорость пересечения обмотки статора полем ротора оказалась меньше скорости вращения ротора. При перемещении: ротора еще на $^1/_4$ зубцового деления (положение 3) ось потока опять совпала с осью полюса, т. е. при переходе ротора из положения 2 в положение 3 скорость пересечения обмотки статора полем ротора оказалась больше скорости вращения ротора. При переходе ротора из положения 3 в положение 4 ось потока оказалась впереди оси полюса, т. е. и при этом переходе скорость пересечения обмотки статора полем ротора оказалась больше скорости вращения ротора. При дальнейшем вращении ротора колебание скорости пересечения обмотки статора полем ротора будет повторяться. Колебания величины и скорости потока являются причиной появления в кривой напряжения обмотки статора так называемых зубцовых гармоник, особенно сильно искажающих кривую напряжения.

Для борьбы с зубцовыми гармониками напряжения в генераторах уменьшают колебания потока по величине и скорости путем, например, скоса пазов статора и соответствующим подбором его обмотки – увеличением числа пазов или применением обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу. При рассмотрении обмоток с целым числом пазов на полюс и фазу мы видели, что катушечные группы каждой фазы находятся на расстоянии целого числа полюсных шагов; кроме того, полюсный шаг равен целому числу зубцовых делений. Это приводит к тому, что стороны катушечных групп фазы находятся в одних и тех же магнитных условиях, т. е. зубцы и пазы располагаются под всеми полюсами совершенно одинаково. В связи с этим зубцовые гармоники э. д. с, которые вызываются в катушечных группах колебаниями потока полюсов, совпадают по фазе. Вполне очевидно, что для уменьшения зубцовых э. д. с. необходимо обмотку подобрать так, чтобы зубцовые гармоники э. д. с. отдельных катушечных групп не совпадали между собой по фазе. Тогда результирующая э. д. с. от зубцовых гармоник катушечных групп всей фазы будет уменьшена или же доведена до нуля. Последний случай, очевидно, получим тогда, когда зубцовые э. д. с. одной половины катушечных групп будут равны по величине и противоположны по направлению э. д. с. другой половины катушечных групп. Отметим, что дробное q применяется и в тех случаях, когда приходится использовать старые штампы стали статора для обмотки с другим числом полюсов. Например, при использовании штампа стали статора с $2p = 4$, $m = 3$ и $q = 3$, т. е. с числом зубцов $Z = 2p \times m \times q = 4 \times 3 \times 3 = 36$ для восьмиполюсной машины, получим:

$$q = \frac{Z}{2p \times m} = \frac{36}{8 \times 3} = 1½$$

б. Образование катушечных групп.

До сих пор мы считали, что на каждой фазной зоне всегда находится q сторон катушек и что число пазов на полюс и фазу q равно числу катушек в каждой катушечной группе. Сейчас мы переходим к рассмотрению таких обмоток, у которых это условие на полюс не выполняется. Так как катушечная группа не может иметь дробного числа катушек, то осуществление дробного q производят, применяя катушечные группы с неодинаковым числом катушек. Дробное q в общем случае можно представить так: q = b + c/d, где b – целое число; c/d – правильная дробь. Если, например, $q = 1^3/_7$, то b = 1, c = 3 и d = 7; если q = = 2⅘, то b = 2, c = 4 и d = 5 если $q = 1^2/_{10}$, то необходимо сначала сократить дробь, а именно: q = 1⅕. В дальнейшем будем считать, что дробная часть представляет несократимую правильную дробь, т. е. c и d не имеют общих множителей. Для того чтобы выполнить дробное q, можно взять часть катушечных групп, состоящих из (b + 1) катушек в каждой, а часть – из b катушек. Если, например, $q = 1^1/_7$, то берут катушечные группы, состоящие из двух катушек (b + 1 = 1 + 1 = 2) и одной катушки (b = 1). Так как q = b + c/d = bd + c/d, то для получения дробного q, мы должны взять (bd + c) соседних катушек и образовать из них d катушечных групп. В этом случае мы получим, что на каждую катушечную группу в среднем будет приходиться по q катушек. Пусть из этих d катушечных групп x групп будут иметь по b катушек и y групп – по (b + 1) катушек. Тогда: bd + c = xb + y (b + l).

Разделим обе части уравнения на b: d + c/b = x + y + y/b. Так как x + y = d, то c/b = y/b, откуда y = c, x = d – y = d – c. Таким образом, чтобы получить дробное q, мы должны взять (bd + c) соседних катушек, часть из них соединить в c катушечных групп по (b + 1) катушек, а оставшиеся катушки соединить в (d – c) катушечных групп по b катушек в каждой. Как увидим ниже, чередование тех и других катушечных групп должно происходить в определенном порядке. Если, например, $q = 1^3/_7$, то берем (bd + c) = 1×7 + 3 = 10 катушек и соединяем их в c = 3 катушечные группы по (b + 1) = = 1 + 1 = 2 катушки и (d – c) = 7 – 3 = 4 катушечные группы по b = 1 катушки. Соединив таким образом первые (bd + c) катушек, берем следующие (bd + c) катушек и соединяем их так же. Так как общее число катушек $Z = 2p{\times}m{\times}q = 2p{\times}m$ × bd + c/d , то, разделив обе части уравнения на (bd + c), получим: Z/bd + c = $2p{\times}m$ × (bd + c/d) / bd + c = $2pm/d$ чередований. В этих уравнениях $2pm$/d должно быть целым числом, иначе нельзя будет осуществить обмотку с заданным q. Дальше вы увидим, что d или, как его обычно называют, знаменатель или показатель дробности, не должен быть кратным трем. Поэтому чтобы $2pm$/d было целым числом, $2p$/d должно равняться целому числу. Таким образом, при образовании катушечных групп мы должны повторять чередование из d групп $2p{\times}m$/d раз. Если взять предыдущий пример $q = 1^3/_7$ d, то при $2p$ = 14 получим: $2p{\times}m$/d = 14 × 3/7 = 6 т. е. 6 чередований по d = 7 катушечных групп в каждом. Каждое чередование имеет: c = 3 катушечные группы по (b + 1) = 2 катушки, (d – c) = 7 – 3 = 4 катушечные группы по b = 1 катушке. Подсчитаем, сколько катушек будет иметь обмотка. Обозначим через A число больших катушечных групп по (b + 1) катушек в каждой и через B – число малых катушечных групп по b катушек в каждой.

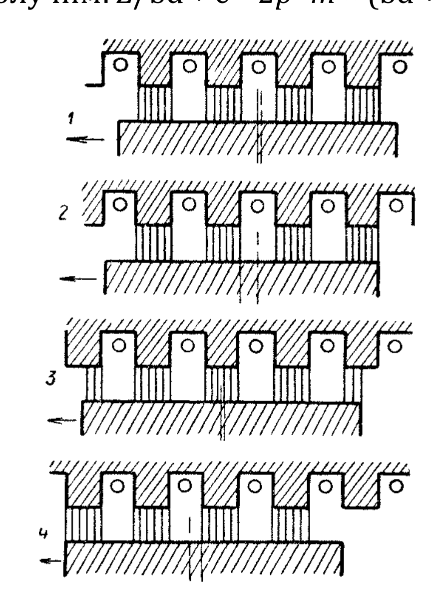


Рис. 2–89. Изменение положения потока относительно оси полюса.

Число больших катушечных групп А равно числу чередований, умноженному на *с*. Число малых катушечных групп В равно числу чередований, умноженному на (d – с). Число катушек равно (b + 1) A + bB. Так как число чередований равно: 2*pm*/d, то А = 2*pm*/d × с, В = 2*pm*/d × (d – с). Число катушек равно: (b + l) × 2*pm*/d × с + b ×2*pm*/d × (d – с) = 2*pm* [(b + l) с + b (d – с)] = 2*pm* [bc + c + bd – be] = 2*pm* × (bd + с / d) = 2*pmq*. Если в предыдущем примере взять 2*p* = 28, то получим в два раза большее число чередований, т. е. 12. В этом случае обмотка будет иметь: 12 × 3 = 36 больших катушечных групп по 2 катушки, 12 (7–3) = 48 малых катушечных групп по одной катушке, всего 36 + 48 = 84 катушечные группы, состоящие из $84 \times 1^{3}/_{7}$ = 120 катушек. Так как число чередований равно 2*pm*/d, то на каждую фазу приходится по 2*p*/d чередований. Если обмотка имеет а параллельных ветвей, то, очевидно, число катушек в каждой из них должно быть одинаковым. Кроме того, э. д. с. параллельных ветвей должны совпадать по фазе. Это значит, что ветви должны находиться в одинаковых точках кривой магнитного поля. Для чего необходимо, чтобы все они имели по одинаковому числу катушечных групп, состоящих как из (b + 1) катушек, так и из b катушек, и чтобы чередование и расположение их по отношению к кривой поля были также одинаковыми. Так как на всю фазу приходится по 2*p*/d чередований, то на каждую параллельную ветвь будет приходиться по 2*p*/ad чередований. *Для того чтобы э. д. с. параллельных ветвей были равны, 2p/ad должно быть целым числом*. Таким образом, при дробном q выбор числа параллельных ветвей становится более ограниченным, чем при целом *q*. Так, например, в четырехполюсной машине при целом q можно было сделать 1, 2 и 4 параллельные ветви, при дробном же *q*, при d – 2 можно сделать только 1 и 2 параллельные ветви, а при d = 4 только 1 параллельную ветвь. После того как мы определили, что каждое чередование имеет (bd + с) катушек, из них с больших и (d – с) малых катушечных групп, необходимо определить чередование этих катушечных групп. Если d = 2, например *q* = 1½, 2½, 3½ и т. д., то с = 1 и (d – с) = 1; поэтому большие и малые катушечные группы располагаются через одну. Если первую катушечную группу сделать малой, то все нечетные катушечные группы будут малыми, а четные – большими. В этом случае получим: *q* = 1½, чередование: (1, 2), (1, 2), (1, 2) и т. д.; *q* = 2½, чередование: (2, 3) (2, 3), (2, 3) и т.д. (цифры в скобках означают число катушек в группе, а скобки отделяют чередования).

Если $q = 1^{1}/_{4}, 2^{1}/_{4}, 3^{1}/_{4}$ и т. д., то в каждом чередовании будет 4 катушечные группы, из них с = 1 большие и (d – с) = 4–1 = 3 малые, т. е.: $q = 1^{1}/_{4}$ чередование: (1, 1, 1, 2), (1, 1, 1, 2,) (1, 1, 1, 2) и т. д.; $q = 2^{3}/_{4}$ чередование: (2, 2, 2, 3), (2, 2, 2, 3), (2, 2, 2, 3) и т. д., $q = 1^{3}/_{4}$ чередование: (2, 2, 2, 1), (2, 2, 2. 1,), (2, 2, 2, 1) и т. д.; $q = 2^{3}/_{4}$ чередование: (3, 3, 3, 2), (3, 3, 3, 2), (3, 3, 3, 2) и т. д.; *q* = 1⅕ чередование: (1, 1, 1, 1, 2), (1, 1, 1, 1, 2), (1, 1, 1, 1, 2) и т. д. *q* = 2⅕ чередование: (2, 2, 2, 2, 3), (2, 2, 2, 2, 3), (2, 2, 2, 2, 3) и т. д. Если числитель дроби *с* не равен единице и не равен (d – 1), то чередование больших и малых катушечных групп можно определить следующим способом. Составляем таблицу из *с* строк и d столбцов. Начиная с верхней строки первого столбца, вписываем в таблицу с чисел, равных (b + 1). Затем (d – с) чисел, равных b, потом снова с чисел (b + 1) и (d – с) чисел b и т. д., пока не будут заполнены все d столбцов. Порядок заполнения показан стрелками на примерах:

1) $q = 1^{4}/_{7}$. b = 1, b + 1 = 2, d = 7, с = 4, d – с = 3.

Составляем таблицу из с = 4 строк и d = 7 столбцов

2	1	2	1	2	1	2
2	1	2	1	2	2	1
2	1	2	2	1	2	1
2	2	1	2	1	2	1

Чередование катушечных групп можно брать по любой строке, например по верхней: 2, 1, 2, 1, 2, 1, 2.

2) *q* = 2⅖, b = 2, b + 1 = 3, d = 5, с = 2, d – с = 3.

Составляем таблицу из двух строк и пяти столбцов:

3 2 2 3 2
3 2 3 2 2

Чередование катушечных групп можно брать по любой строке. Существует и другой способ определения числа чередований. Составляем таблицу из (d – c) строк и d столбцов и вписываем сначала (d – c) чисел, равных 6, затем c чисел, равных (b + 1), потом снова (d – c) чисел, равных b и c чисел, равных (b + 1). При $q = 1^4/_7$ таблица будет иметь три строки:

1 2 2 1 2 1 2
1 2 1 2 2 1 2
1 2 1 2 1 2 2

При $q = 2\frac{2}{5}$ таблица будет иметь три строки:

2 3 2 3 2
2 3 2 2 3
2 2 3 2 3

Чередование катушечных групп можно брать по любой строке.

в. Соединение катушечных групп и схемы обмоток.

После того как катушки соединены в катушечные группы, необходимо определить порядок включения групп в каждой фазе. Ввиду того что при дробном q чередование фаз такое же, как и при целом q, а именно: Iн, IIIк, IIн, Iк, IIIн, IIк и т. д., мы можем легко выделить катушечные группы, которые принадлежат к той или иной фазе. Рассмотрим пример: $2p = 8$, $m = 3$, $q = 1\frac{1}{8}$. Число катушечных групп: $2p{\times}m = 8 \times 3 = 24$. Число катушек в катушечных группах: в малых b = 1, в больших (b + 1) = 1 + 1 = 2. Число катушечных групп в одном чередовании: d = 8; больших c = 1; малых d – c = 8 – 1 = 7. Расположение катушечных групп в одном чередовании: 1,1, 1, 1, 1, 1, 1, 2. В табл. 2–1 приводится распределение катушечных групп по фазам.

Таблица 2–1.

Номер катушечной группы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Число катушек в катушечной группе	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1
Фаза	Iн	IIIк	IIн	Iк	Шн	IIк	Iн	IIIк	IIн	Iк	IIIн	IIк
Номер катушечной группы	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Число катушек в катушечной группе	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2
Фаза	Iн	IIIк	IIн	Iк	Шн	IIк	Iн	IIIк	IIн	Iк	IIIн	IIк

По этой таблице составляем упрощенную схему обмотки (рис. 2–90). Так как число катушечных групп в фазе $2p = 8$, число больших катушечных групп в чередовании c = 1, число чередований групп $2p{\times}m/\mathrm{d} = 8 \times 3/8 = 3$, получаем, что во всей обмотке $2pm/\mathrm{d} \times \mathrm{c} = 3$ больших катушечных групп по одной группе на фазу. Выше мы нашли, что $2p/\mathrm{ad}$ должно равняться целому числу. В нашем случае $2p = 8$ и d = 8, поэтому $a = 1$. В рассматриваемой обмотке мы можем получить только одну параллельную ветвь.

	Верхние концы Фаза I	Фаза II	Фаза III	Нижние концы Фаза I	Фаза II	Фаза III
C1,C2,C3	1	3	5	1	3	5
	4	6	8	4	6	8
	7	9	11	7	9	11
	10	12	14	10	12	14
	13	15	17	13	15	17
	16	18	20	16	18	20
	19	21	23	19	21	23
C4,C5,C6	22	24	2	22	24	2

Рис. 2–90. Соединение катушечных групп $2p = 8$, $m = 3$, $q = 1⅛$.

На рис. 2–90 большие катушечные группы заштрихованы. Таким образом, в отличие от упрощенных схем обмоток с целым q в схемах обмоток с дробным q необходимо предварительно сделать распределение больших и малых катушечных групп и уже после этого приступать к их соединению. Полная схема обмотки приведена на рис. 2–91. Выполнив вышеуказанные правила, мы получили в каждой фазе по одинаковому числу больших и малых катушечных групп, что указывает на симметричность обмотки. Совсем другое мы получим, если знаменатель дробный равен или кратен трем. Действительно, при d = 3 число катушечных групп в одном чередовании будет равно 3. Так, например, при $q = ⅓$ чередование будет иметь следующий вид: /1, 1, 2/,/1, 1, 2/1, 1, 2/,/1, 1, 2/ и т. д., т. е. большая катушечная группа располагается через две малые группы.

При $2p = 6$, $m = 3$ и $q = ⅓$ получаем распределение катушечных групп, указанное в табл. 2–2. Здесь все большие катушечные группы попали в одну фазу. Нетрудно убедиться, что при любом другом распределении катушечных групп мы всегда будем получать в одной фазе большие, а в двух других малые группы, т. е. неодинаковое число катушек в фазах, что недопустимо.

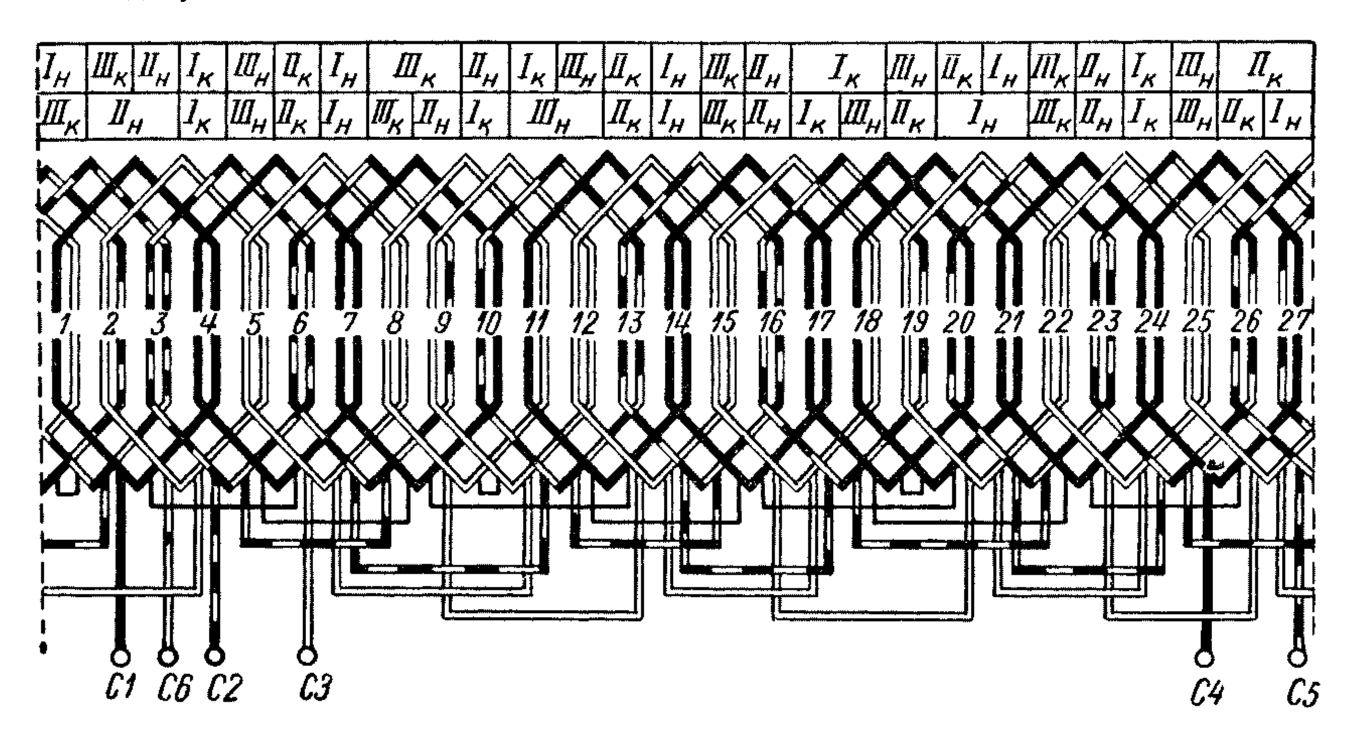


Рис. 2–91. Схема обмотки: $2p = 8$, $m = 3$, $q = 1⅛$, $a = 1$.

Таблица 2–2.

Номер катушечной группы	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Число катушек в катушечной группе	1	1	2	1	1	2	1	1	2
Фаза	Ін	ІІІк	ІІн	Ік	ІІІн	ІІк	Ін	ІІІк	ІІн
Номер катушечной группы	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Число катушек в катушечной группе	1	1	2	1	1	2	1	1	2
Фаза	Ік	ІІІн	ІІк	Ін	ІІІк	ІІн	Ік	ІІІн	ІІк

Все катушечные группы соединены последовательно ($a = 1$)

Вполне очевидно, что при $a = 1$ схема соединения катушечных групп остается такой же, как и при целом q. Схема обмотки восьмиполюсной машины при $q = 1\frac{1}{8}$ и $a = 1$ изображена на рис. 2–91.

Все катушечные группы соединены параллельно ($a = 2p$)

Так как в обмотках с дробным q катушечные группы неодинаковы, то соединять $2p$ групп в $2p$ параллельных ветвей нельзя.

Число параллельных ветвей $a = 2$.

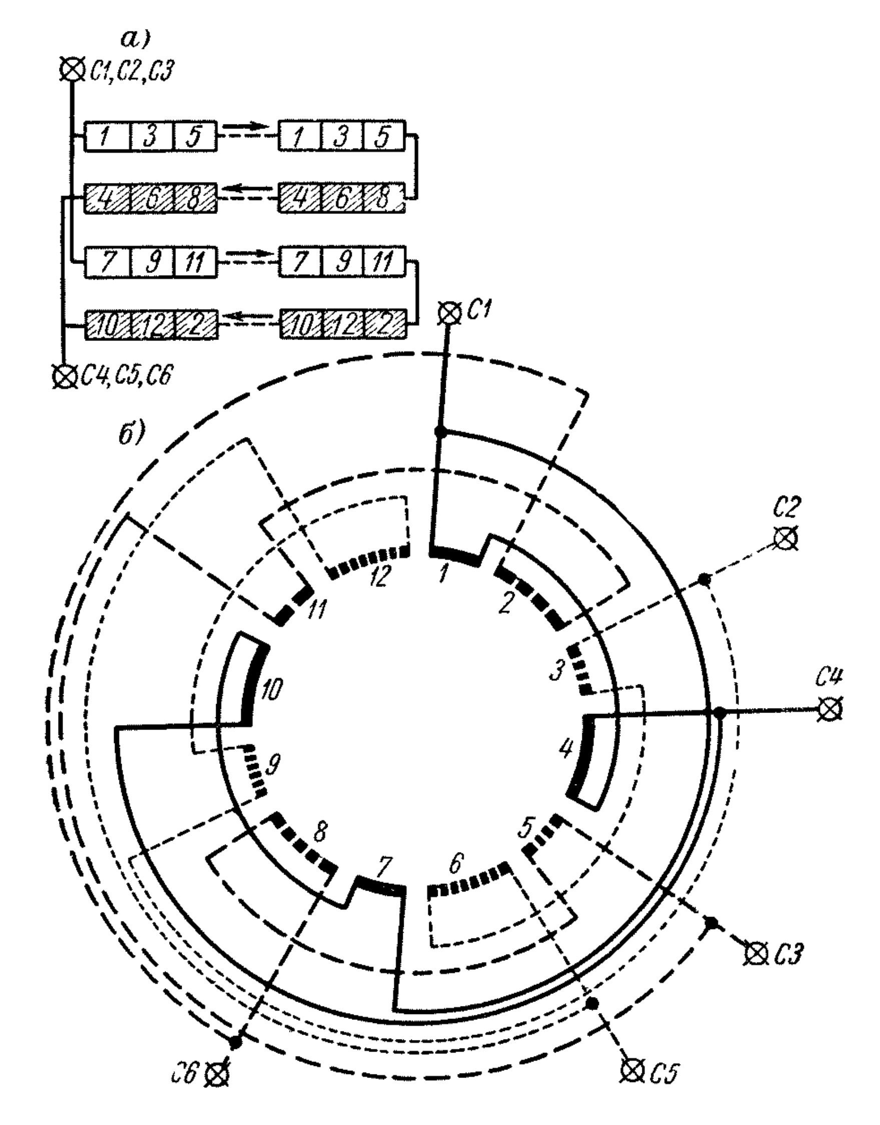


Рис. 2–92. Упрощенная схема обмотки:
$2p = 4$, $m = 3$, $q = 1\frac{1}{2}$, $a = 2$.

Это число параллельных ветвей можно осуществить только в таких обмотках, у которых число больших, а также и малых катушечных групп делятся на $a = 2$. Но число больших катушечных групп в фазе равно: $2p/d \times c$, число малых групп: $2p/d \times (d - c)$. Поэтому $a = 2$ можно получить только в тех обмотках, у которых $(2p/ad) \times c = (p/d) \times c$ – целое число; $(2p/ad) \times (d - c) = (p/d) \times (d - c)$ – целое число. Так как c и d, а также $(d - c)$ и d не имеют общих делителей, то оба предыдущих правила сведутся к одному, p/d– целое число. Откуда ясно, что в четырехполюсной машине $a = 2$ можно получить только при $d = 2$, т. е. при $q = 1½$, $2½$ и т. д.

В этой обмотке число больших катушечных групп: $2p/d \times c = 4/2 \times 1 = 2$. На рис. 2–92, а дана упрощенная схема обмотки, $2p = 4$, $d = 2$; чередование больших и малых катушечных групп (1, 5), (1, 2) и т. д.; число малых катушечных групп: $2p/d \times (d - c) = 4/2 \times (2 - 1) = 2$. На рис. 2–92, б дана упрощенная торцовая схема этой же обмотки.

А на рис. 2–93, а приведена полная схема обмотки $2p = 4$, $m = 3$, $q = 1½$, $a = 2$.

В шестиполюсной машине нельзя получить $a = 2$ вследствие того, что d не должен быть равным 3, p/d не будет целым числом. Выше было указано, что в асинхронных двигателях следует избегать обмоток с дробным q, так как они имеют плохую кривую м. д. с. Но в некоторых случаях, например с целью использования имеющегося штампа или наштампованного сердечника статора для другого числа полюсов, применяют обмотку с дробным q, чаще всего с знаменателем $d = 2$. Чтобы убедиться в том, что обмотки с дробным q имеют плохую кривую м. д. с, построим кривую м. д. с. четырехполюсной обмотки с числом пазов на полюс и фазу $q = 1½$. На рис. 2–93, *б* приведена кривая м. д. с. двухслойной обмотки, построенная путем сложения м. д. с. отдельных катушек, для одного момента времени, когда ток в фазе A в два раза больше тока в фазах B и C и имеет противоположное направление. На рис. 2–94, *а* дана схема однослойной обмотки $2p = 4$, $Z = 18$, $m = 3$, $q = 1½$, $a = 1$. На рис. 2–94, *б* приведена кривая м. д. е., построенная также путем сложения кривых м. д. с. отдельных катушек. Кривая м. д. с. построена для момента времени, когда ток фазы В в два раза больше тока в фазах А и С и имеет противоположное направление.

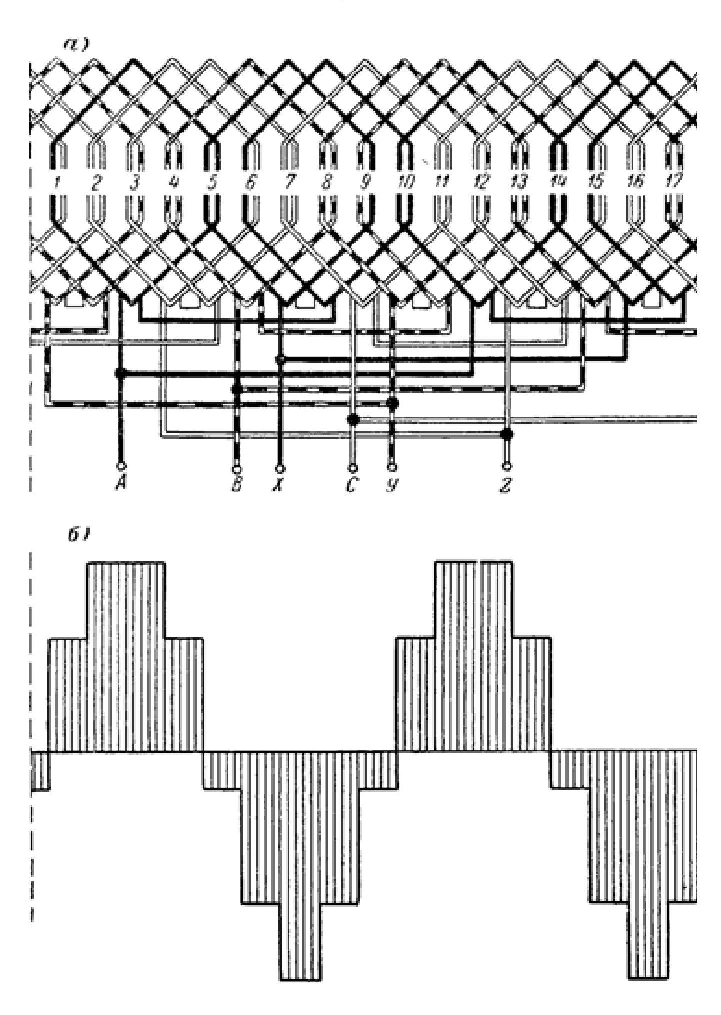


Рис. 2–93. Схема и кривая м. д. с. обмотки $2p = 4$, $m = 3$, $q = 1½$, $a = 2$.

Сравнивая кривые рис. 2–93, *б* и 2–94, *б*, видим, что обмотки с дробным q создают несимметричную м. д. с, в результате чего вращающееся магнитное поле статора становится несинусоидальным с сильно выраженными магнитными полями, имеющими другое число полюсов, чем основная гармоника поля. Эти магнитные поля ухудшают работу асинхронного двигателя. Пользуясь тем, что $2p/ad$ должно равняться целому числу, легко определить возможное число параллельных ветвей при различных значениях $2p$ и d.

Выше мы отмечали, что одной из причин применения обмоток с дробным q является борьба с зубцовыми гармониками, вызванными зубчатостью статора. Рассмотрим это на конкретном примере. Предположим, что обмотка имеет $2p = 8$, $m = 3$, $q = 1^1/_4$. Задаемся несколькими положениями полюсов ротора относительно пазов и зубцов статора (рис. 2–95). На рисунке кружками показаны проводники одной фазы. Рассматривая переход ротора из положения 1 в положение 2 видим, что скорость перемещения потока полюсов S_2 и N_1 (ось потока полюса – пунктирные прямые, а оси самих полюсов – сплошные прямые, см. также рис. 2–89) больше, а потока полюсов S_1 и N_2 меньше скорости перемещения ротора. При переходе ротора из положения 2 в положение 3 скорость перемещения потока полюсов N и S больше, а потока полюсов N_2 и S_2 меньше скорости перемещения ротора. Рассматривая другие положения видим, что поток двух каких–либо полюсов перемещается быстрее, а двух других медленнее, чем перемещается ротор. Поэтому под первыми полюсами в проводниках будет индуктироваться э. д. с. большая, а под вторыми – меньшая, чем э. д. с. при синхронной скорости вращения ротора. В случае обмотки с целым q (рис. 2–96) при переходе ротора из положения 1 в положение 2 скорость перемещения потока всех полюсов оказывается больше скорости вращения ротора, а при переходе из положения 2 в положение 3 – меньше. Таким образом, э. д. с, вызванная зубчатостью статора, в случае обмоток с дробным q становится меньше, чем у обмоток с целым q.

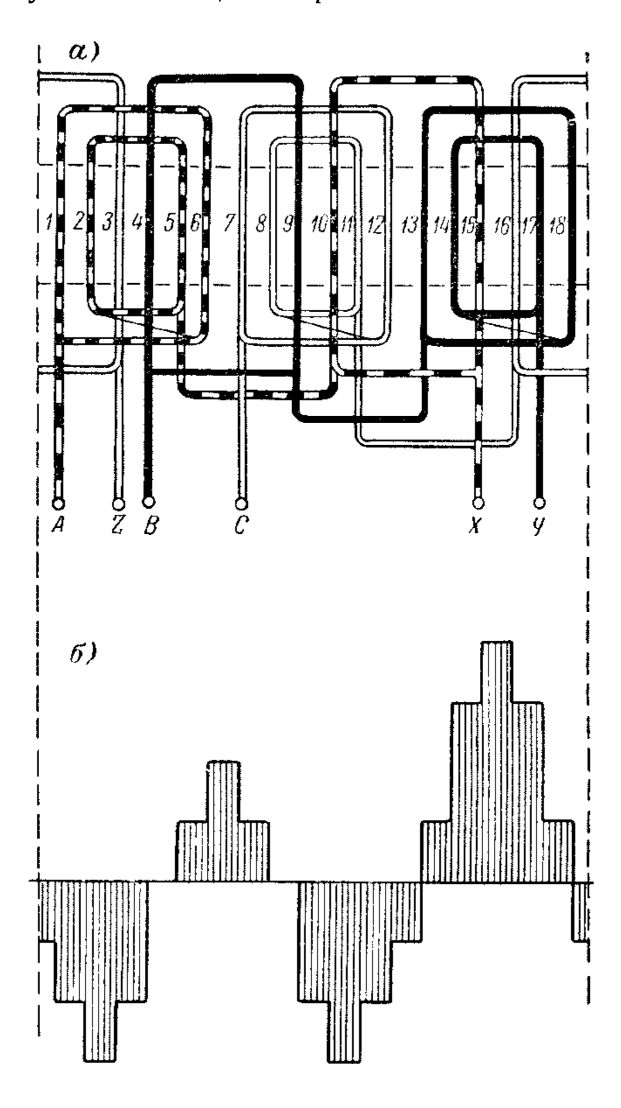


Рис. 2–94. Схема и кривая м. д. с. однослойной обмотки
$Z = 18$, $2p = 4$, $q = 1$, $m = 3$.

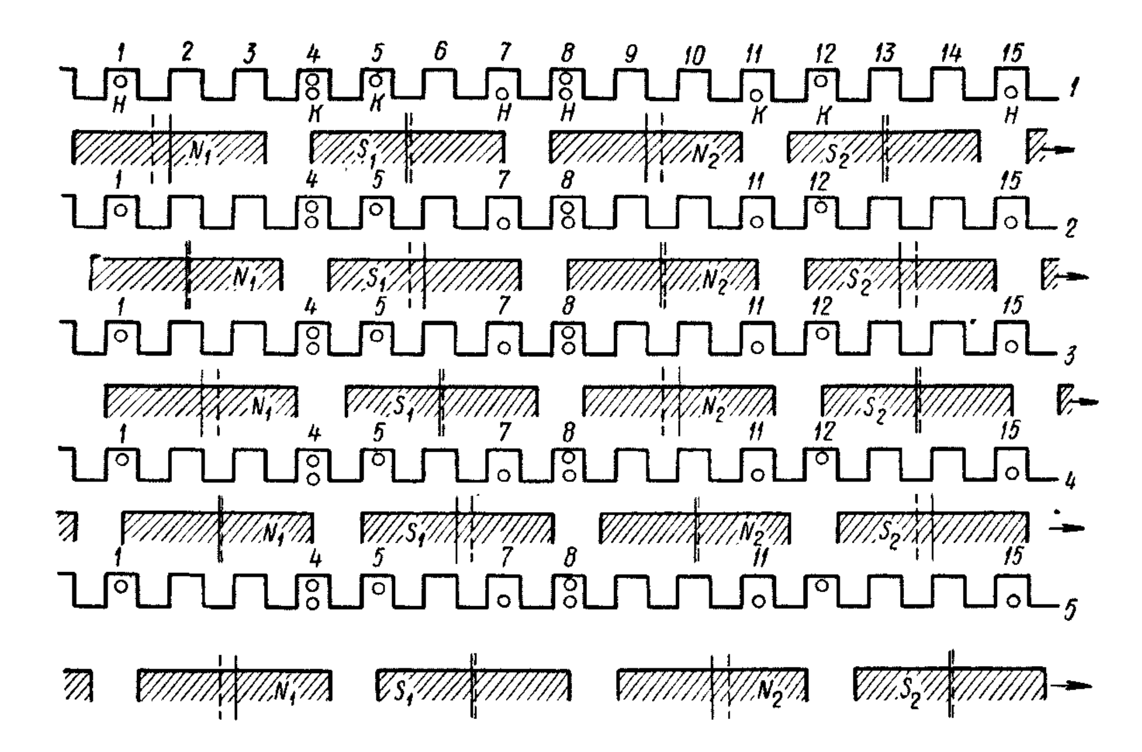


Рис. 2–95. Расположение сторон катушек обмотки с дробным q в поле ротора.

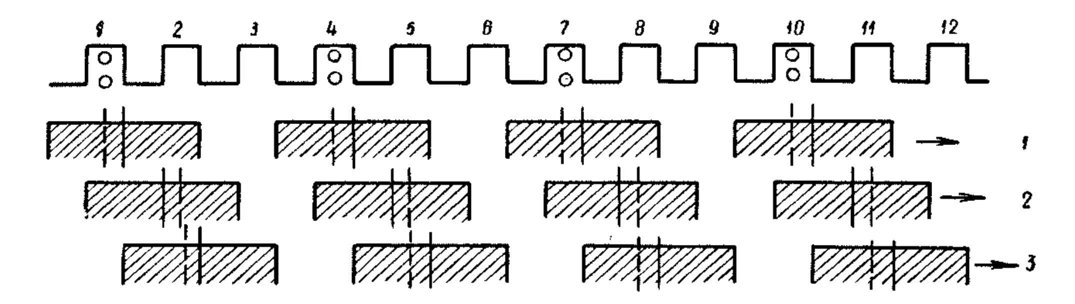


Рис. 2–96. Расположение сторон катушек обмотки при целом q в поле ротора.

2–8. Однофазные двухслойные обмотки.

Однофазные двухслойные обмотки отличаются от трехфазных не только тем, что представляют одну фазу трехфазной обмотки, но еще и тем, что ширина фазной зоны ее в два раза больше, чем в трехфазной обмотке. Напомним, что шириной фазной зоны называется угол в электрических градусах, внутри которого находятся проводники (только верхние или только нижние) одной фазы и одного полюса. В то время как в трехфазных обмотках ширина фазной зоны равна 60 эл. градусов, в однофазных обмотках фазная зона равна 120 эл. градусам. Как уже отмечалось выше, к этому прибегают для лучшего использования магнитного потока машины и улучшения формы кривой напряжения. В отношении схемы однофазные обмотки ничем не отличаются от трехфазных. Катушки, лежащие под одним полюсом, соединяются последовательно в катушечные группы. При соединении катушечных групп в параллельные ветви нужно выполнить все требования, которые были разобраны для трехфазных обмоток. На рис. 2–97 изображена однофазная обмотка двухполюсной машины с диаметральным шагом. Из 18 пазов статора обмотано ⅔, т. е. 12 пазов. Пазы 7, 8, 9, 16, 17 и 18 остаются необмотанными. При последовательном соединении катушечных групп (аналогично рис. 2–66) нужно соединить между собой концы первой и второй катушечных групп и оставшиеся концы вывести к зажимам.

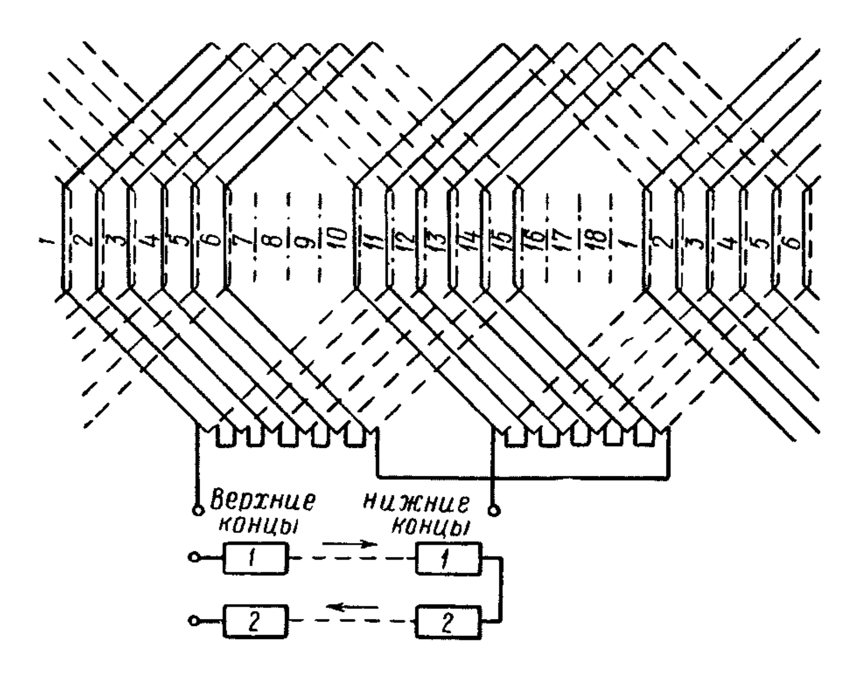


Рис. 2–97. Последовательное соединение двух соседних катушечных групп однофазной обмотки.

2–9. Стержневые волновые обмотки.

В многополюсных петлевых обмотках (рис. 2–98, *а*) получается большое количество межкатушечных соединений, что вызывает дополнительный расход меди. В волновых обмотках надобность в межкатушечных соединениях отпадает, как это показано на рис. 2–98, *б*, где представлена схема волновой обмотки с теми же данными. Двухслойные волновые обмотки чаще всего имеют по два активных проводника в пазу. При однослойной обмотке с одним проводником в пазу витковая изоляция не нужна, что делает изоляцию обмотки более надежной, простой и дешевой и, кроме того, улучшается использование паза, т. е. заполнение его медью. Стержневые волновые обмотки применяются главным образом в машинах большой мощности или низкого напряжения. Кроме того, они применяются в роторах асинхронных двигателей с контактными кольцами большой мощности, так как позволяет более легко осуществить крепление лобовых частей. Основным элементом волновых обмоток является стержень.

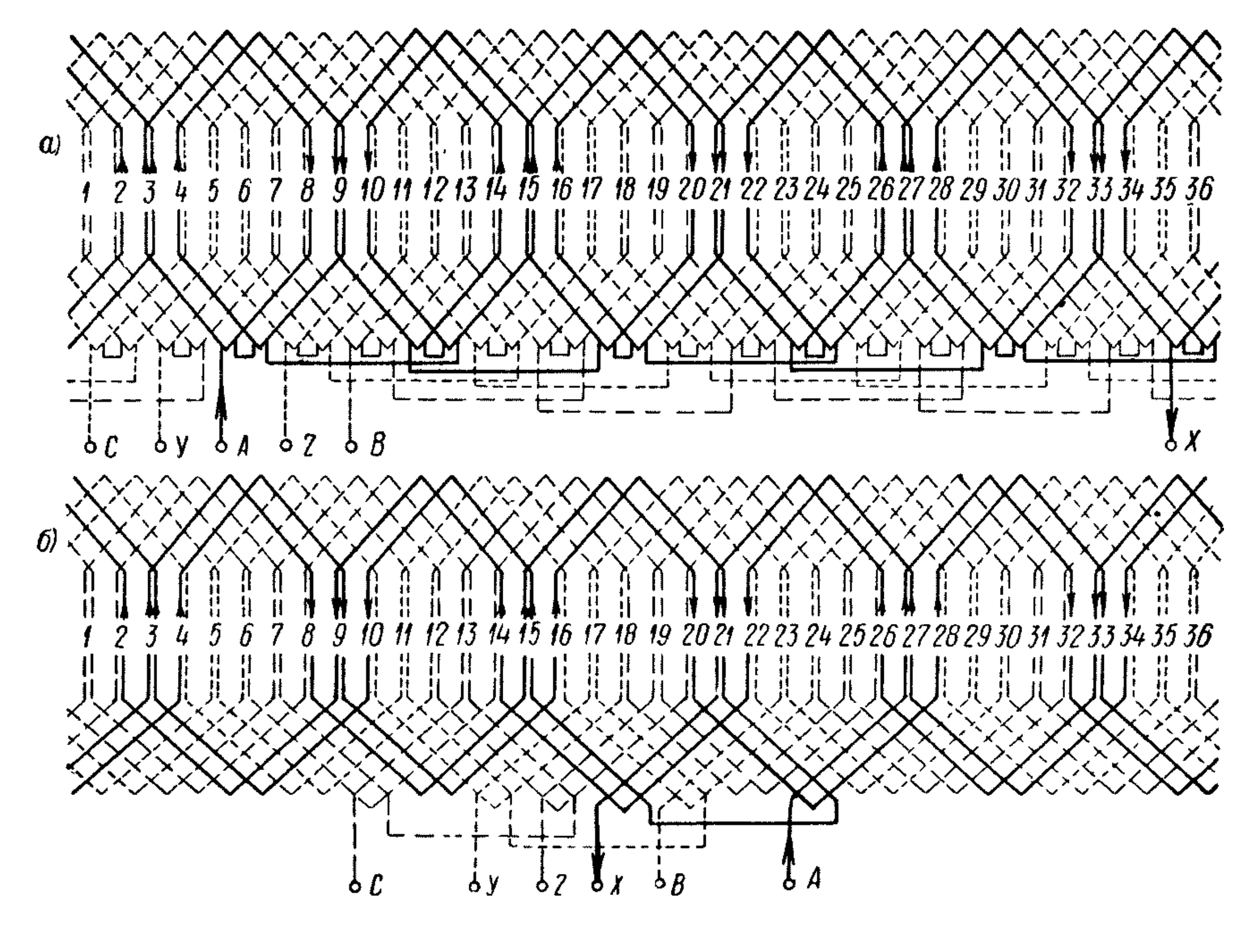
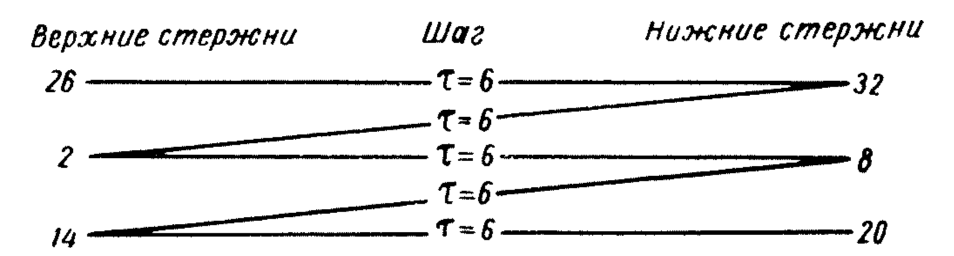


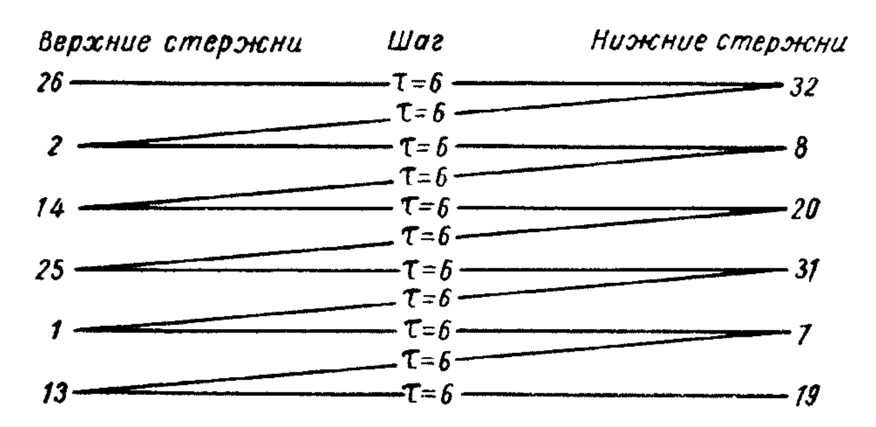
Рис. 2–98. Стержневая петлевая (*а*) и волновая (*в*) обмотки: $2p = 6$, $m = 3$, $q = 2$.

а. Волновые стержневые обмотки роторов асинхронных двигателей с целым q.

Рассмотрим соединение стержней одной фазы на конкретном примере обмотки ротора асинхронного двигателя со следующими данными: $2p = 6$, $m = 3$, $q_2 = 2$. Определяем число пазов $Z = 2p \times m \times q_2 = 6 \times 3 \times 2 = 36$. В отличие от петлевых обмоток сокращение шага в волновых обмотках не уменьшает расхода меди на лобовые части, так как уменьшение длины лобовых частей с задней стороны компенсируется соответствующим увеличением длины лобовых частей с передней стороны (со стороны выводных концов), но в электромагнитном отношении сокращение шага играет ту же роль, что и в петлевых обмотках. Так же как и в петлевых обмотках, схема соединения выводных концов не зависит от шага. Поэтому в виде примера составим схему волновой обмотки с диаметральным шагом. Разбиваем пазы по фазным зонам и по "началам" и "концам". Соединение стержней начинаем с верхнего стержня паза 26 (рис. 2–99). Конец верхнего стержня 26 с задней стороны соединяем с нижним стержнем 32, который находится от стержня 26 на расстоянии полюсного шага $\tau = m \times q_2 = 3 \times 2 = 6$. С передней стороны нижний стержень соединяем с верхним стержнем 2, который расположен от стержня 32 также на расстоянии полюсного шага $\tau = 6$, и так поступаем дальше пока не сделаем один обход по ротору. Составим таблицу соединения стержней одного обхода.



Здесь горизонтальные соединения (26–32, 2–8 и 14–20) представляют лобовые части с задней стороны, а наклонные соединения (32–2, 8–14) – лобовые части с передней стороны. При первом обходе по ротору в схему попало только $6 = 2p$ стержней – по одному стержню с каждого фазного участка. Чтобы соединить стержни первого обхода со стержнями второго обхода, который, очевидно, будет начинаться стержнем 25, нужно лобовые части стержней 20 и 25 сделать более короткими, так как при шаге $\tau = 6$ стержень 20 соединился бы со стержнем 26 и $2p$ стержней оказались бы замкнутыми накоротко. Составляем таблицу первого и второго обходов.



Как видно из рисунка, после двух обходов (в общем случае после q обходов) включенной оказалась только половина всех стержней фазы.

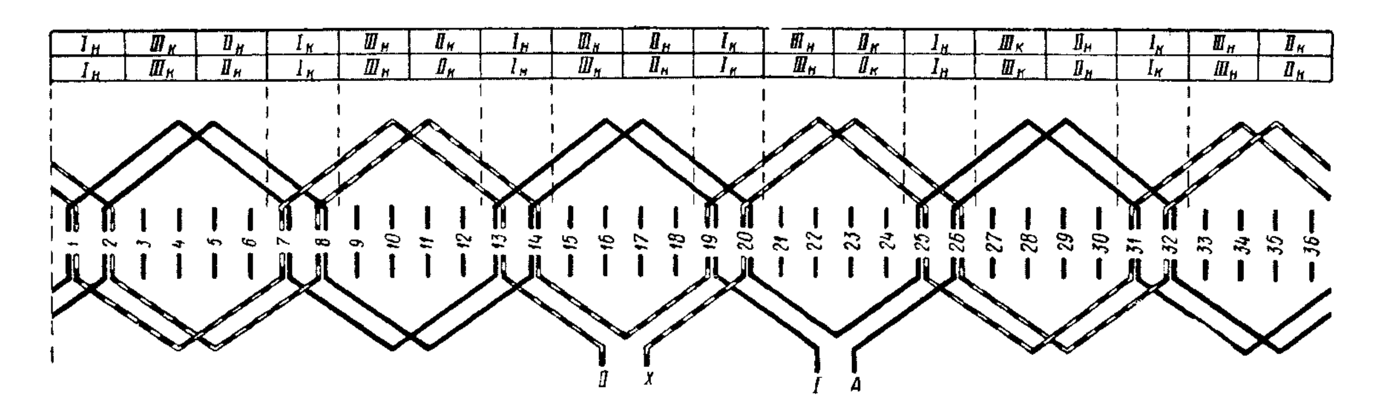


Рис. 2–99. Схема соединения стержней одной фазы волновой двухслойной обмотки (укороченные переходы).

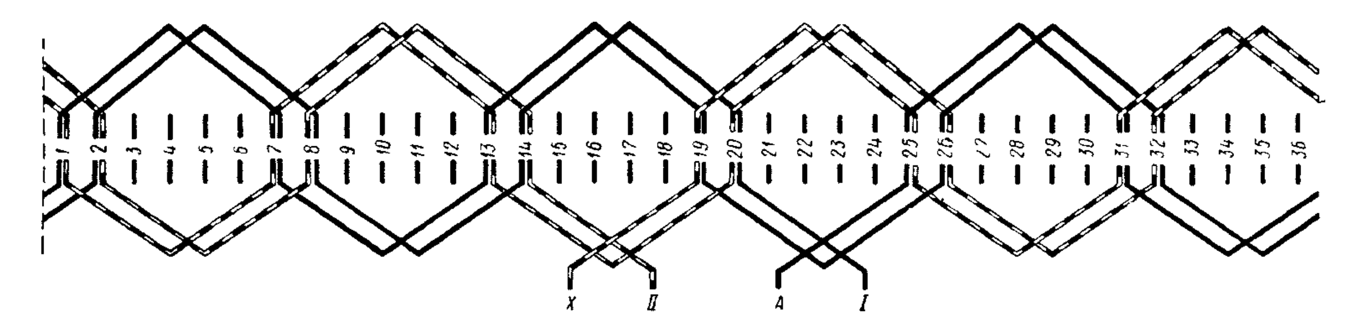


Рис. 2–100. Схема соединения стержней одной фазы волновой двухслойной обмотки (удлиненные переходы).

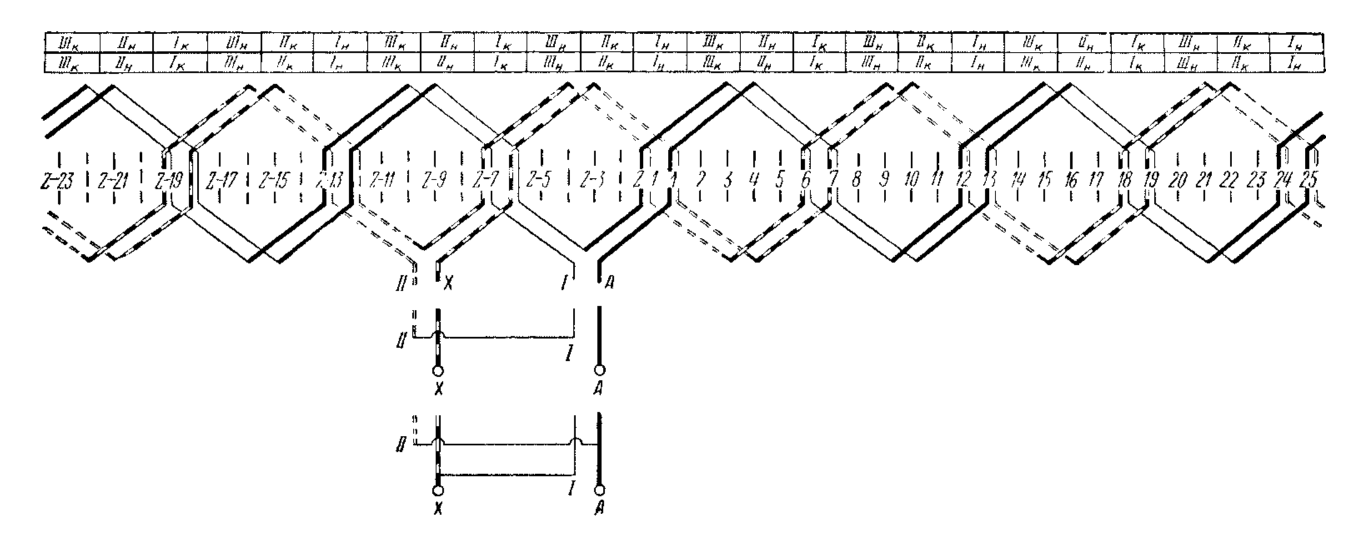


Рис. 2–101. Схема соединения стержней одной фазы обмотки ротора.

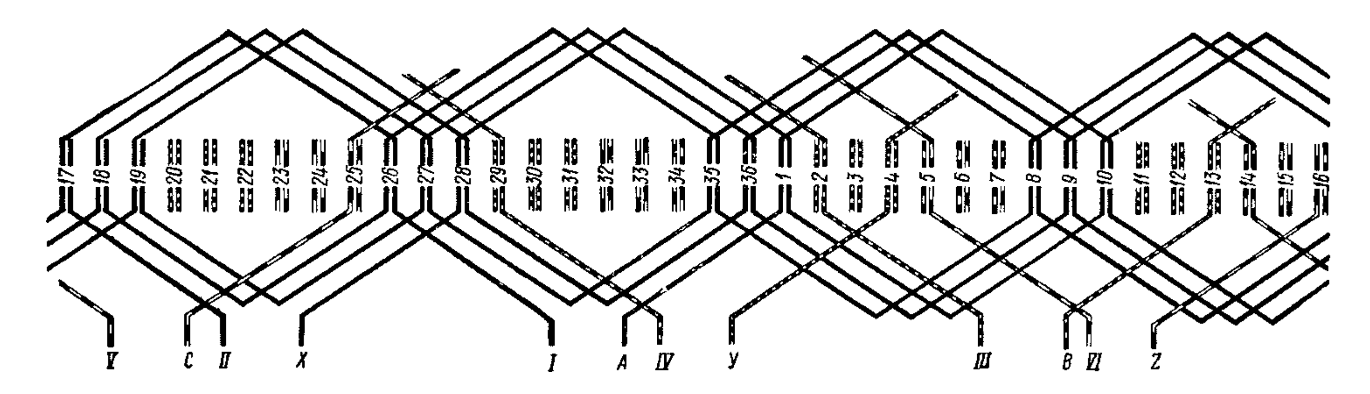


Рис. 2–102. Схема соединения стержней одной фазы обмотки ротора $2p = 4$, $m = 3$, $q_2 = 3$.

Для того чтобы соединить остальные стержни фазы, берем соседнюю от исходной фазную зону и на ней верхний стержень 20. Соединение стержней производим так же, как и при первом обходе: 20–26–32–2–8–14–19–25–31–1–7–13. На рис. 2–99 первая ветвь обмотки показана сплошной линией, а вторая – прерывистой. В результате такого соединения получим четыре выходных стержня – два верхних (20 и 26) и два нижних (19 и 13), причем стержни 13 и 26 находятся на начале фазного участка, стержни 19 и 20 – на конце.

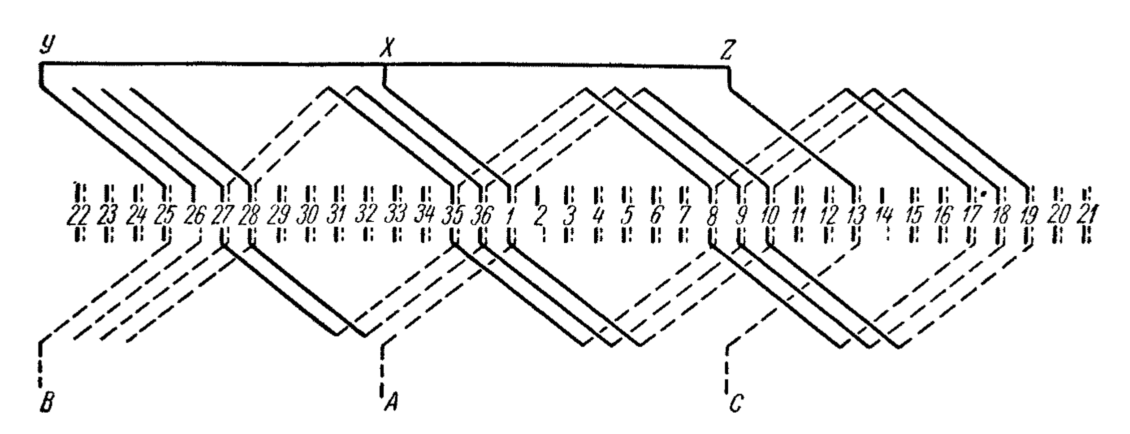


Рис. 2–103. Схема волновой стержневой обмотки.

Если в качестве исходного взять не двадцать шестой, а двадцать пятый стержень, лежащий на том же фазном участке, но слева, а не справа, то, перемещаясь по ротору в том же направлении, получим схему, показанную на рис. 2–100. В этом случае лобовые части последнего стержня первого обхода (19) и первого стержня второго обхода (26) получаются более длинными. Поэтому такой способ соединения применяется реже. Что касается соединения четырех выходных концов фазы, то оно зависит от числа параллельных ветвей. Если a = 1, то между собой нужно соединить любое из двух начал с любым из двух концов. В производственном отношении удобнее между собой соединить нижние стержни, т. е. вывод I с выводом II, а выводы А и Х считать соответственно началом и концом фазы. При a = 2 (в очень крупных машинах, когда при a = 1 на кольцах получается большое напряжение) вывод А нужно соединить с выводом II, а вывод Х с выводом I (рис. 2–101). Соединения стержней двух других фаз производятся таким же образом. Для того чтобы выводные концы и соединительные проводники не нарушали балансировки ротора, их нужно располагать относительно друг друга на расстоянии ⅓ окружности ротора (см. рис. 2–102). Если ⅓×p равно целому числу, то фазные участки, расположенные друг от друга на 120 геометрических градусов, оказываются принадлежащими одной и той же фазе. В этом случае выводы также следует располагать по возможности более симметрично.



Рис. 2–104. Переходной стержень.

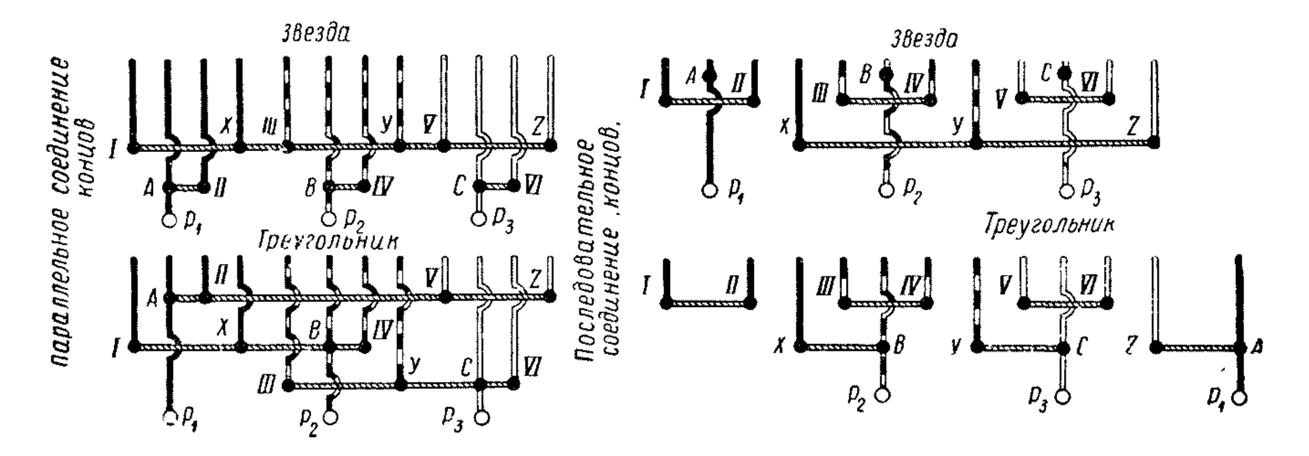


Рис. 2–105. Схемы соединения концов волновой трехфазной обмотки ротора при целом q_2 с удлиненным переходом.

На рис. 2–103 приведена схема волновой стержневой обмотки, на которой отсутствуют специальные соединительные проводники между ветвями. На этой схеме последний (верхний) стержень первой ветви (стержень 26) делают косым (рис. 2–104) – этим и достигается переход во вторую ветвь. Вследствие некоторой не симметрии кривой м. д. с. такие обмотки могут вызвать вибрацию и шум.

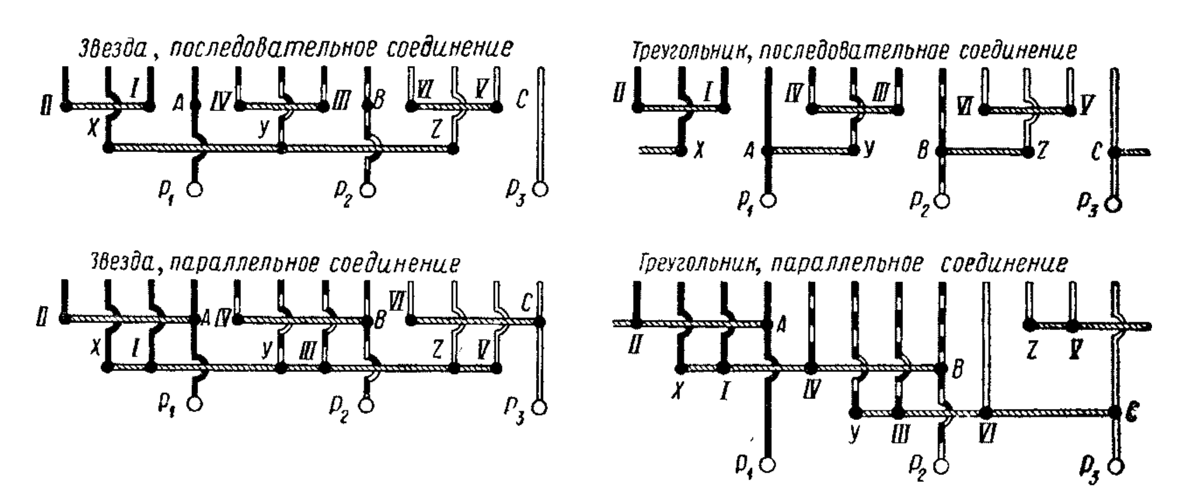


Рис. 2–106. Схемы соединения концов волновой трехфазной обмотки ротора при целом q^2 с укороченным переходом.

Кроме того, на этой схеме выводы A, B и C располагаются с одной стороны, а концы, идущие в нулевую точку звезды – с другой стороны, что также упрощает изготовление обмотки. Различные схемы соединения выводных концов при целом q приведены на рис. 2–105 и 2–106.

б. Волновые стержневые обмотки роторов асинхронных двигателей с дробным q_2.

В волновых стержневых обмотках ротора применяются и дробные q_2, чаще всего равные 1½, 2½, 3½ и т. д. Так как число фаз равно трем – числу нечетному, то в этом случае число пазов, приходящееся на полюс, есть число дробное: при q_2 = 1½ оно равно 4½, при q_2 = 4½ оно равно 13½ и т. д. Следовательно, нормальный шаг обмотки не может точно равняться полюсному делению τ. Шаг обмотки должен быть только целым числом; поэтому он не может быть в данном случае диаметральным, а может быть либо укороченным, либо удлиненным. Каждая пара соседних шагов в сумме должна равняться 2τ, поэтому при дробном q_2 укороченный шаг волновой обмотки ротора чередуется с удлиненным шагом.

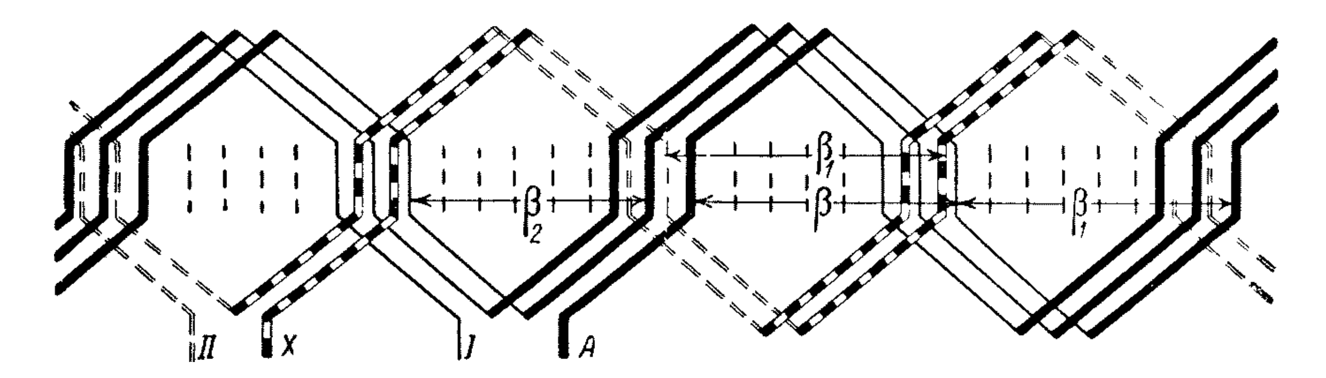


Рис. 2–107. Схема соединения стержней одной фазы обмотки ротора:
$2p = 4$, $m = 3$, $q = 2½$, $\beta = 7$, $\beta_1 = 8$, $\beta_2 = 7$.

Разность между ними может быть равна любому числу; обыкновенно же она равна единице, а разность между каждым из них и полюсным делением, выраженным числом пазов, по абсолютной величине равна половине. При дробном q_2 числа стержней каждой зоны в фазе чередуются в каждом слое обмотки. Числа пазов фазной зоны одной и той же фазы по очереди равны: q – ½ и q_2 + ½

Каждый верхний стержень соединен с каким–то нижним. Поэтому (q_2–½) стержней верхнего слоя соединяются с (q_2–½) стержнями нижнего слоя, отстоящими от них приблизительно на одно полюсное деление. Эти (q_2–½) нижних стержней в свою очередь соединяются с (q_2–½) верхними и т. д. Таким образом, вся ветвь обмотки, которая начинается фазной зоной с (q_2–½) стержнями, имеет по (q_2–½) стержней во всех своих фазных зонах. Значит, другая ветвь той же фазы вся состоит из фазных зон по (q_2 +½) стержней. Обе ветви переплетены таким образом (рис. 2–107), что вторая ветвь включает в себя нижние стержни тех пазов, где первая ветвь включает верхние, и наоборот. Но так как фазная зона одной из ветвей имеет на единицу меньшее число стержней, чем фазная зона другой ветви, то в одном из пазов каждой фазной зоны только верх или только низ занят стержнем данной фазы, а вторая половина занята стержнем какой–то другой фазы. Таким образом, при дробном q_2 в некоторой части пазов встречаются проводники двух различных фаз. Это явление имеет место, как известно, в двухслойных обмотках с сокращенным шагом. Такое сходство не случайно, так как в двухслойных обмотках дробное q_2 непременно связано с известным сокращением шага.

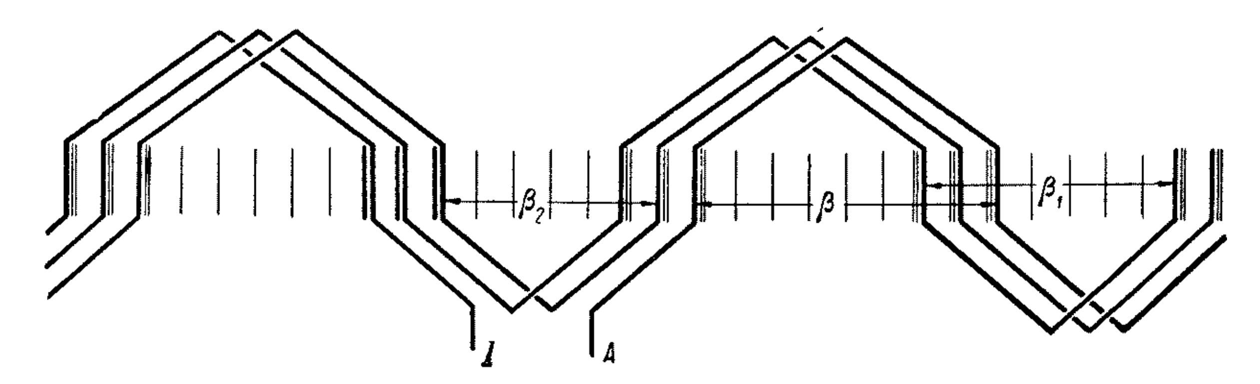


Рис. 2–108. Схема соединения стержней одной фазы обмотки ротора:
$2p = 4$, $m = 3$, $q_2 = 2^2/_2$, $\beta = 8$, $\beta_1 = 7$, $\beta_2 = 6$.

Двухслойная волновая обмотка при дробном q_2 также является обмоткой с сокращенным шагом. Если через β мы обозначим шаг секций со стороны выводов, а через β_1 – шаг со стороны, противоположной выводам (рис. 2–107), то шаг в конце обхода (ненормальный шаг): $\beta_2 = \beta_1 - 1$.

Здесь возможны два случая. Если шаг со стороны выводов на единицу меньше шага с противоположной стороны (рис. 2–107), т.е. $\beta = \beta_1 - 1$, то $\beta_2 = \beta_1 - 1 = \beta$ Если же шаг со стороны выводов на единицу больше шага с противоположной стороны (рис. 2–108), т. е. $\beta_1 = \beta - 1$, то будем иметь $\beta_2 = \beta_1 - 1 = \beta - 1 = \beta - 2$.

2–10. Обмотки с не равновитковыми катушками.

При расчете обмоток встречаются случаи, когда число витков фазы не делится без остатка на число катушек фазы или когда в двухслойных обмотках на катушку приходится не целое число витков. Тогда (имея в виду двухслойные обмотки) обычно одну половину комплектов катушек делают с одним числом витков, а другую с числом витков на 1 или 2 больше. Если по ширине паза лежит один активный проводник, то берут в одной части катушек на один виток больше, чем в другой. Если же по ширине паза лежат два активных проводника, то берут на два витка больше. Для лучшего использования паза большие и малые катушки нужно располагать так, чтобы число проводников в нем было одним и тем же. На практике катушки располагаются или согласно рис. 2–109, *а*, когда они чередуются через один паз, или согласно рис. 2–109, *б*, когда они попарно чередуются через два паза. Шаг катушек должен быть таким, чтобы в пазу одна сторона принадлежала катушке с большим числом витков, а другая – с меньшим. При укладке катушек по рис. 2–109, *а* шаг катушек должен быть нечетным, а при укладке по рис. 2–109, *б* – четным. При первом способе укладки число катушек должно быть четным, так как число "больших" и "малых" катушек должно быть одинаковым. Но в двухслойных обмотках число катушек равно числу пазов, поэтому получим: $Z = 2pmq$ – четное число или, так как $m = 3$, $Z = 2pm$ – четное число, или $Z = pq$ – целое число. При втором способе укладки число катушек должно быть кратным четырем, так как каждой паре малых катушек должна соответствовать пара больших катушек. Поэтому при втором способе укладки $Z = 2pmq$ – число, кратное 4, или $2pq$ – число, кратное 4, или pq – четное число. Так как при целом q произведение pq всегда равно целому числу, то первый способ укладки применим во всех случаях. Второй способ, требующий четного шага, применим только в тех случаях, когда pq = четному числу, т. е. когда или p, или q равны четному числу. При образовании параллельных ветвей необходимо в каждую из них включить по одинаковому числу одинаковых катушечных групп. Только тогда э. д. с. ветвей будут одинаковыми по величине. Рассмотрим сначала образование параллельных ветвей при первом способе укладки. Ввиду того, что нижние стороны катушек располагаются в таком же порядке, как и верхние, достаточно в дальнейшем рассмотреть расположение только одних верхних сторон. При четном числе катушек в группе (рис. 2–110) все катушечные группы получаются одинаковыми. Так, например, при $q = 2$ все группы имеют по одной большой и по одной малой катушке, причем расположение катушек также одинаково. Поэтому в каждой фазе э. д. с. катушечных групп, сдвинутых между собой на двойной полюсный шаг, будут одинаковыми по величине и направлению, а э. д. с. катушечных групп, сдвинутых между собой на полюсный шаг, равны и противоположны по направлению. Таким образом, в отношении э. д. с. катушечных групп такая обмотка с целым q ничем не отличается от нормальной двухслойной обмотки с целым числом пазов на полюс и фазу.

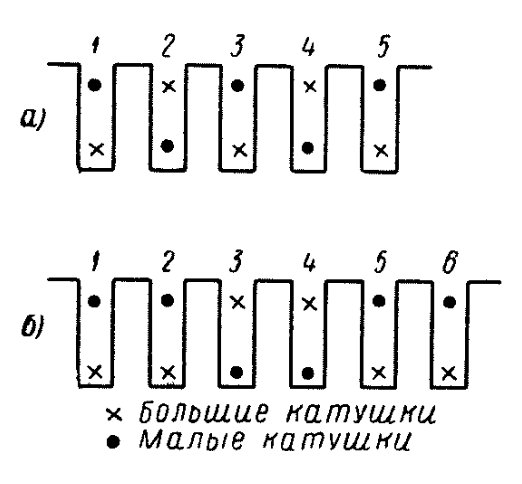


Рис. 2–109. Расположение в пазах «больших» и «малых» катушек.

В связи с этим при образовании параллельных ветвей необходимо, чтобы число катушечных групп делилось без остатка на число параллельных ветвей, т. е. $2p/a$ было равно целому числу. При нечетном числе катушек в катушечной группе (рис. 2–111) одинаковые катушечные группы чередуются через одну. Так, например, при q = 5 все нечетные катушечные группы имеют по три больших и по две малых катушки, причем малые катушки располагаются между большими. Все четные катушечные группы, наоборот, имеют по три малых и по две больших катушки, причем большие катушки располагаются между малыми. Вследствие этого э. д. с. нечетных катушечных групп будет больше э. д. с. четных катушечных групп.

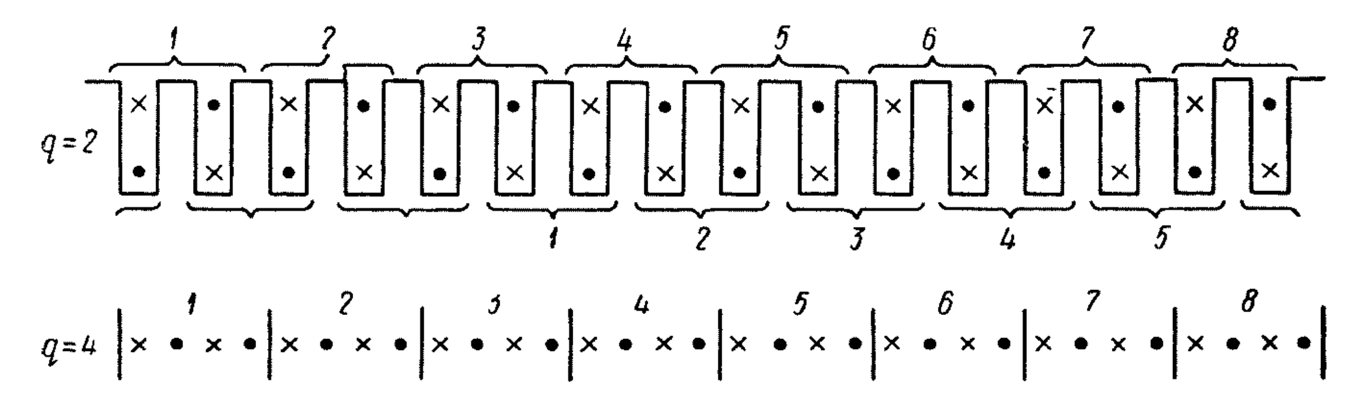


Рис. 2–110. Образование параллельных ветвей при первом способе укладки и четном q.

Рис. 2–111. Образование параллельных ветвей
при первом способе укладки и нечетном q.

Рис. 2–112. Образование параллельных ветвей при втором способе укладки.

Таким образом, в отношении э. д. с. катушечных групп обмотки с нечетным q напоминают обмотку с дробным числом пазов на полюс и фазу при знаменателе d = 2, т. е. для образования параллельных ветвей должно быть выполнено условие: $2p/2a = p\ a$ – целое число. Рассмотрим обмотки, у которых катушки располагаются по второму способу. При q = 2 одинаковые катушечные группы располагаются через одну. Так, например, на рис. 2–112, *а* все нечетные катушечные группы оказались большими, а четные – малыми. Таким образом, в отношении распределения катушечных групп эта обмотка напоминает обмотку с дробным числом пазов на полюс при знаменателе d = 2, т. е. для образования параллельных ветвей p/d должно быть равно целому числу. Такое же распределение катушечных групп получим при q = 6. При q = 4 (рис. 2–112, *в*) все катушечные группы по числу больших и малых катушек и по их расположению оказываются одинаковыми.

Поэтому образование параллельных ветвей производится так же, как и в нормальных обмотках с целым числом пазов на полюс и фазу. При q = 3 (рис. 2–112, *б*) одинаковые катушечные группы чередуются через четыре группы. Так, например, катушечные группы 7, 5, 9, 13 и т. д. имеют по две большие катушки с левой стороны и одну малую с правой стороны. Если же взять катушечные группы 5, 7, 11 и т. д., также одинаковые между собой, то э. д. с. их будет меньше, чем у катушечных групп 2, 5, 9, 13 и т. д., так как первые группы имеют меньшее число витков.

Катушечные группы 2, 6, 10 и т. д., хотя и имеют такие же катушки, как и катушечные группы 1, 5, 9, 13 и т. д., но вследствие другого относительного расположения больших и малых катушек на фазных участках э. д. с. катушечных групп 2, 6, 10 и т. д. будут равны по величине, но не равны по фазе э. д. с. групп 1, 5, 9, 13 и т. д. Катушечные группы 4, 8, 12 и т. д. имеют такие же катушки, как катушечные группы 3, 7, 11 и т. д., но вследствие другого относительного расположения больших и малых катушек э. д. с. катушечных групп 4, 8, 12 и т. д. будут равны по величине, но не равны по фазе э. д. с. групп 3, 7, 11 и т. д.

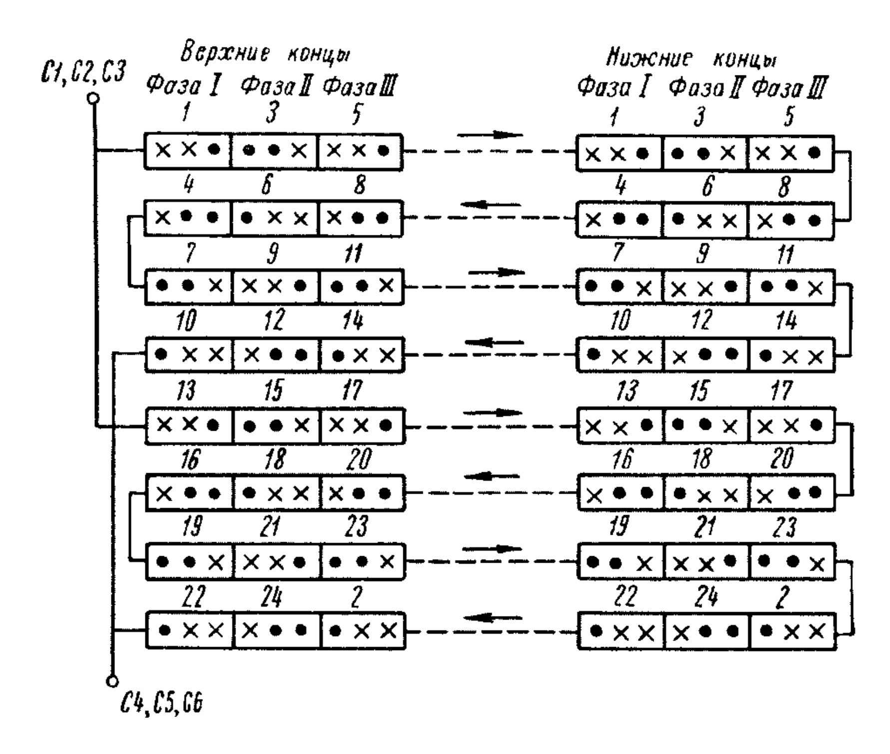


Рис. 2–113. Образование параллельных ветвей при втором способе укладки $2p = 8$, $m = 3$, $a = 2$, $q = 3$.

Таким образом, э. д. с. катушечных групп одной фазы, например, первой 1, 4, 7, 10 будут различными. Если же взять катушечную группу 13 этой же фазы, то ее э д. с. будет совпадать по величине и фазе с э. д. с. катушечной группы 1 и соответственно 16 с 4, 19 с 7 и 22 с 10. Каждая фаза обмотки, имея всего $2p$ катушечных групп, при q = 3 будет иметь группы четырех видов, причем число катушечных групп одинакового вида будет равно $2pm/12$. Так, например, в четырехполюсной машине будет всего катушечных групп $2pm = 4 \times 3 = 12$ по $2p = 4$ в каждой фазе. Так как все четыре катушечные группы имеют неодинаковое э. д. с, то их можно соединять только последовательно, т. е. при $2p = 4$, $a = 1$. При $2p = 8$ в каждой фазе будет по $2p = 8$ катушечных групп. Вследствие того, что $2pm/12 = p/2 = 4/2 = 2$ в каждой фазе будет по две одинаковые катушечные группы. Следовательно, в этой обмотке можно получить $a = 2$ (рис. 2–113). При $q = 5$ (рис. 2–112, а) одинаковые катушечные группы чередуются через четыре группы. В связи с этим образование параллельных ветвей происходит аналогично предыдущему. В общем случае при нечетном q отношение p/a должно быть четным числом.

Перейдем к рассмотрению не равновитковых обмоток с дробным q и ограничимся рассмотрением обмоток со знаменателем дробной части q, равным $d = 2$ ($q = 1½$ $2½$ и т. д.) как обмоток, наиболее часто встречающихся в асинхронных двигателях.

Первый способ укладки.

Катушечные группы (рис. 2–114) получаются четырех видов, причем одинаковые катушечные группы повторяются через четыре группы: 1, 5, 9 и т. д., 2, 6. 10, и т. д., 3, 7, 11 и т. д., 4, 8, 12 и т. д.

Рис. 2–114. Расположение катушечных групп при первом способе укладки: q равно дробному числу, $d = 2$.

В каждой фазе одинаковые катушечные группы расположены через 12 катушечных групп, или через $12/m = 4$ полюсных шага. Так как τ соответствует: $3q = 3 \times (bd + c/d)$ пазов, то одинаковые катушечные группы фазы располагаются через число пазов, соответствующее 4τ, т. е. $4 \times 3\ (bd + c/d) = 4 \times 3\ (bd + c/2) = 6\ (bd + c)$ пазов. Таким образом, при образовании параллельных ветвей должно быть выполнено условие: $2p/4a = p/2a$ – целое число. Схема обмотки при $2p = 8$, $m = 3$, $q = 1½$ и $a = 2$ изображена на рис. 2–115.

Второй способ укладки.

Катушечные группы (рис. 2–116) получаются шести видов, причем одинаковые по виду и чередованию катушечные группы повторяются через восемь групп:
1, 9, 17, 25 и т. д., 2, 10, 18, 26 и т. д., 3, 11, 19, 27 и т. д. В каждой фазе одинаковые катушечные группы располагаются через 24 группы, т. е. через 8 полюсов.

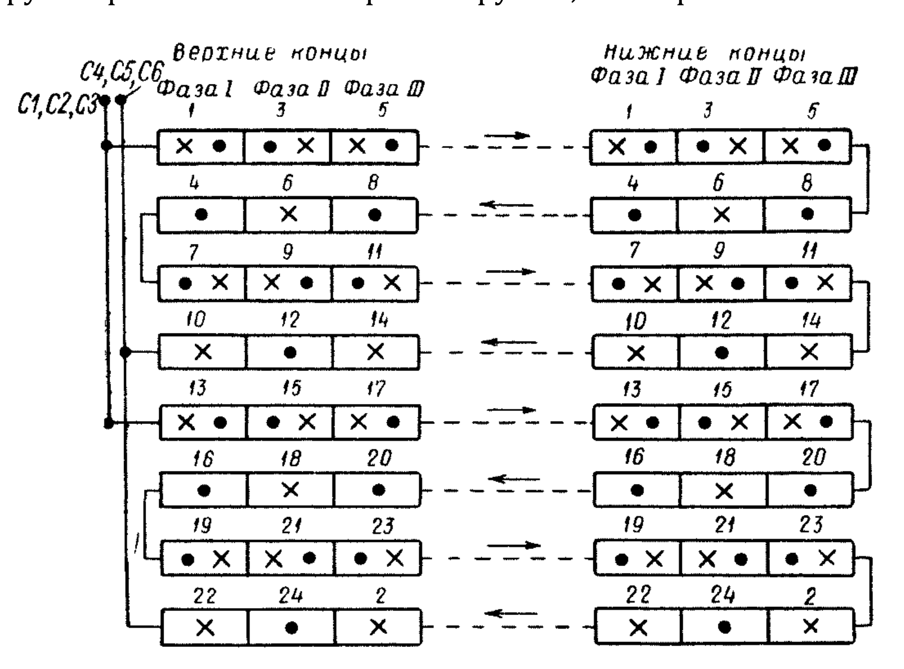


Рис. 2–115. Схема не равновитковой обмотки $2p = 8$, $m = 3$, $q = 1½$, $a = 2$.

$q = 1\frac{1}{2}$ |×|× •|•|× ×|•|• ×|×|• •|×|× •|•|× ×|•|• ×|×|• •|×|× •|•|× ×|•|• ×|×|• •|

$q = 2\frac{1}{2}$ |× ×|• • ×|× •|• × ×|• •|× × •|• ×|× • •|× ×|• • ×|× •|• × ×|

Рис. 2–116. Расположение катушечных групп при втором способе укладки, q равно дробному числу, d = 2.

Таким образом, при образовании параллельных ветвей должно быть выполнено условие: $2a/8a = p/4a$ – целое число. На рис. 2–117 изображена схема обмотки при $2p$ = 16, m = 3, q = 1½ и a = 2. Для более равномерного распределения катушечных групп по статору можно в одну параллельную ветвь включить последовательно группы (для I фазы): 1, 7, 13, 19, 28, 34, 40, 46 и в другую: 4, 10, 16, 22, 25, 31, 37, 34. Аналогично и для II и III фаз.

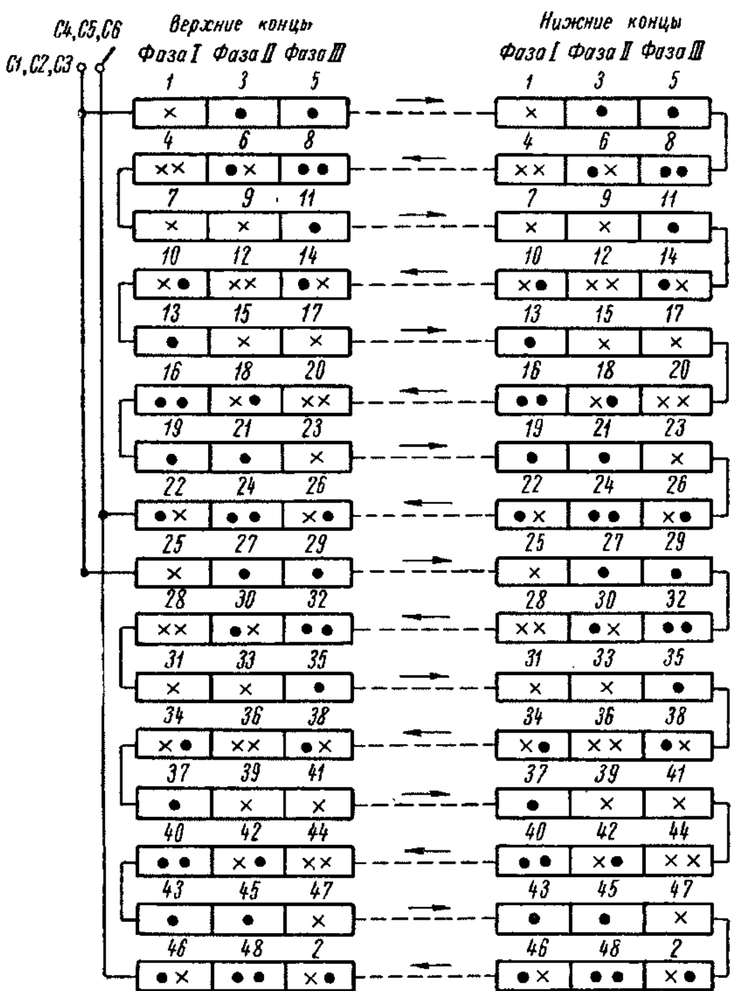


Рис. 2–117. Схема не равновитковой обмотки: $2p$ = 16, m = 3, q = 1½, a = 2

2–11. Многоскоростные обмотки.

а. Общие сведения.

Асинхронный двигатель по существу является двигателем постоянной скорости. Его скорость вращения при нагрузке мало отличается от так называемой синхронной скорости n_c, определяемой следующим выражением: $n_C = 60 \times f/p$, где f – частота тока в сети; p – число пар полюсов обмотки. С другой стороны, асинхронный двигатель является самым дешевым, легким и простым по обслуживанию.

Поэтому вполне естественно стремление к более широкому применению этих двигателей. Основной недостаток асинхронных двигателей состоит в трудности изменения скорости вращения. Одним из способов изменения скорости, получившим в последнее время наибольшее распространение, является изменение числа полюсов обмотки статора. Из вышеприведенной формулы видно, что синхронная скорость и близкая к ней рабочая скорость вращения обратно пропорциональны числу полюсов. При увеличении числа полюсов обмотки статора в два раза рабочая скорость вращения уменьшается практически также в два раза. Асинхронные двигатели, у которых скорость вращения регулируется посредством изменения числа полюсов обмотки статора, носят название *многоскоростных*. Существуют двух–, трех– и четырехскоростные двигатели. Двухскоростные двигатели выполняются или с двумя совершенно отдельными и нормальными обмотками в статоре, каждая на одно определенное число полюсов, или же с одной обмоткой статора, которую с помощью специального переключателя (контроллера) переключают на два различных числа полюсов, чаще всего с отношением 1:2. Трехскоростные двигатели имеют, как правило, две обмотки статора: одну обмотку с переключением числа полюсов обычно в отношении 1:2 и другую нормальную, на одно число полюсов. Четырехскоростные двигатели обычно имеют две обмотки статора, каждая с переключением числа полюсов, чаще всего в отношении 1:2. Существуют обмотки с переключением на 3 или 4 числа полюсов. В многоскоростных двигателях применяют короткозамкнутые роторы, так как ротор с контактными кольцами требует соответствующего переключения его обмотки для изменения числа полюсов, что значительно усложняет конструкцию двигателя. Расчет обмотки статора с переключением числа полюсов, т. е. определение числа катушек, числа витков в них, шага катушки и способов соединения их, а также способа соединения фаз при том и другом числе полюсов зависит от режима работы двигателя и является задачей специалистов в области расчета электрических машин.

б. Изменение числа полюсов посредством переключения ответвлений у обмоток, выполненных по типу якорных обмоток постоянного тока.

При прохождении трехфазного тока по однослойной обмотке образуется $2p$ участков по $3q$ пазов в каждом, в которых ток имеет одинаковую величину, причем во всех четных участках ток имеет одно направление, а во всех нечетных – противоположное. В соответствии с чередованием участков обмотки с противоположными по направлению токами происходит чередование положительных и отрицательных полуволн кривой м. д. с, а тем самым и полюсов магнитного поля обмотки. То же самое можно сказать и про каждый слой двухслойной обмотки, так как ее можно рассматривать как две однослойные обмотки, смещенные между собой на ширину катушек.

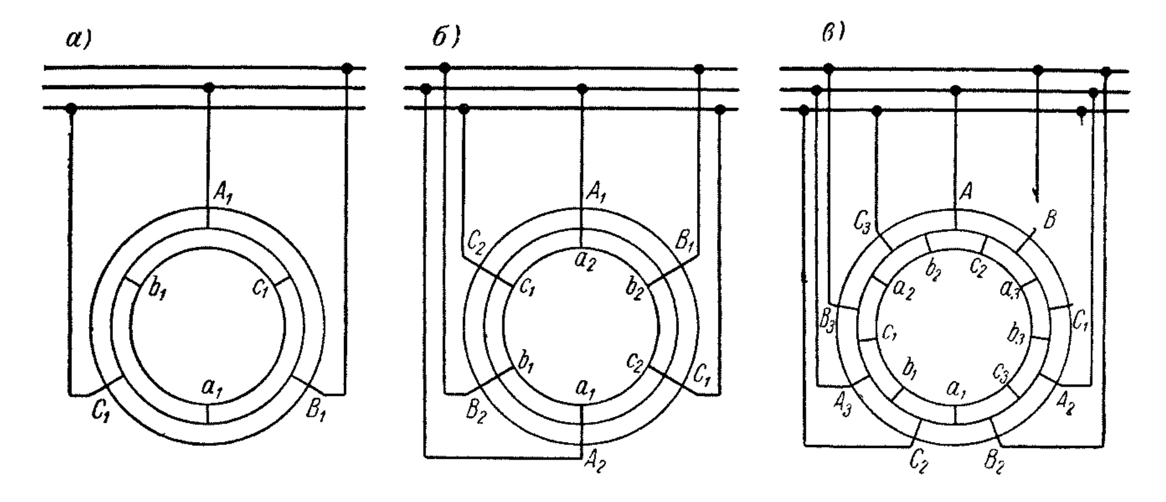


Рис. 2–118. Присоединение двухслойной обмотки при питании ее в 3, 6 и 9 точках.

При диаметральном шаге катушек направление токов в проводниках верхних и нижних сторон катушек одного паза одинаково, и форма кривой м. д. с. всей обмотки будет такой же, как и кривой м. д. с. одного слоя. При сокращении шага катушек распределение тока и м. д. с. всей обмотки будет отличаться от распределения тока и м. д. с. одного слоя. Но в обоих случаях, т. е. при диаметральном и сокращенном шагах, двухслойная обмотка создает $2p$ участков с током одного направления. Для того чтобы от одной обмотки можно было получить различное число полюсов, необходимо путем переключений получить соответствующее изменение в числе участков обмотки, имеющих одинаковое направление тока. Наиболее наглядно изменение числа полюсов обмотки можно рассмотреть на примере обмотки якоря машин постоянного тока. Как известно из гл. 1, обмотки якоря машин постоянного тока являются замкнутыми. Если такую обмотку питать в n равноудаленных точках трехфазным током, то при n кратном трем, получим обмотку, соединенную треугольником, причем при n>3 получим n/3 треугольников, включенных параллельно. На рис. 2–118 показана двухслойная обмотка с диаметральным шагом якоря двухполюсной машины постоянного тока. Для упрощения обмотка дана в виде двух слоев, представляющих верхние и нижние стороны катушки.

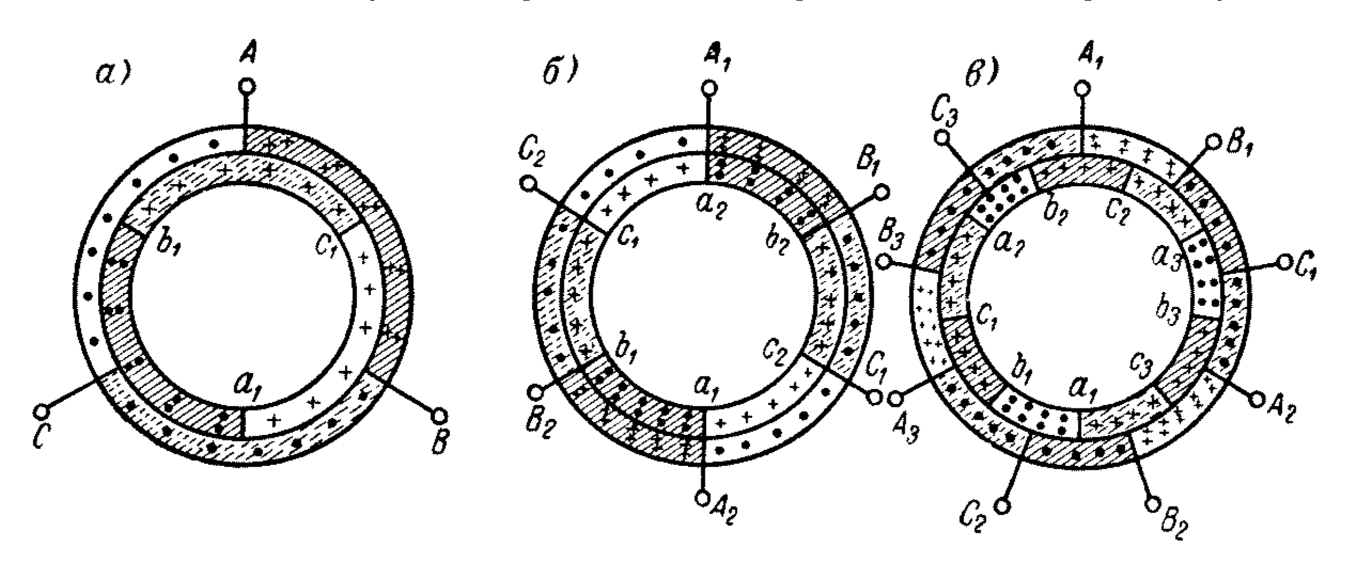


Рис. 2–119. Распределение тока в двухслойной обмотке: *n* = 3 (*а*), *n* = 6 (*б*), *n* = 9 (*в*).

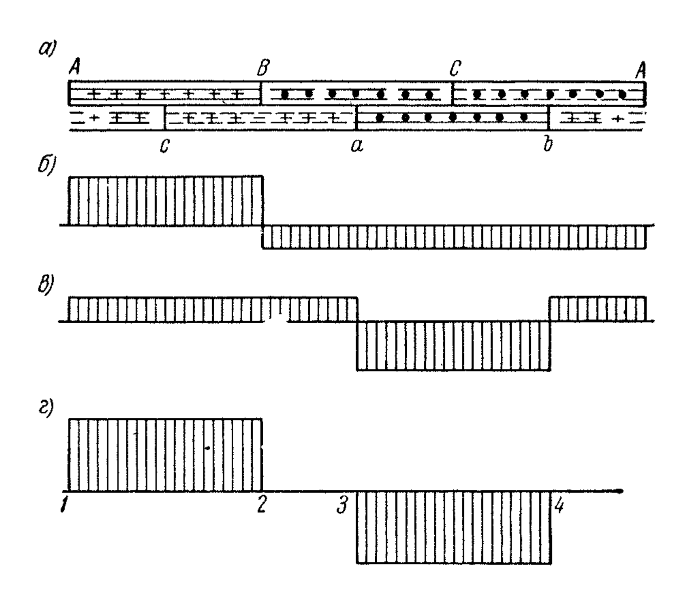
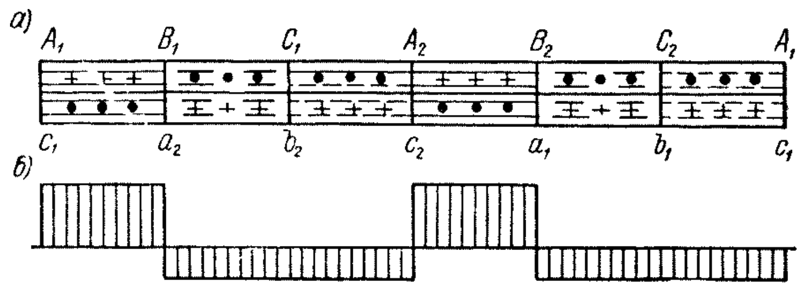


Рис. 2–120. Кривая распределения тока при n = 3

При питании такой обмотки в *n* (*n* = 3, *n* = 6, *n* = 9 см. рис. 2–118, *а*, *б*, *в*) точках величина и направление тока на участках верхнего слоя, заключенных между одноименными точками питания, например A_1B_1,A_2B_2 и т. д., будут одинаковыми. На участках нижнего слоя, сдвинутых на ширину катушек от участков верхнего слоя, токи будут иметь противоположное направление. Предположим, что в рассматриваемый момент времени, токи на участках A_1B_1,A_2B_2 и т. д имеют амплитудное значение и направлены от нас. Тогда токи на участках B_1C_1, B_2C_2 и т. д. и на участках C_1A_2, C_2A_1 и т. д. будут направлены навстречу токам первых участков и будут в два раза меньше.

Направление токов на участках нижнего слоя a_1, b_1 a_2b_2 и т. д. будет противоположным направлению тока на участках верхнего слоя, сдвинутых от них на ширину катушки (рис. 2–119).



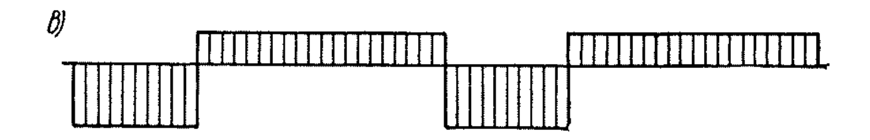


Рис. 2–121. Кривая распределения тока при n = 6.

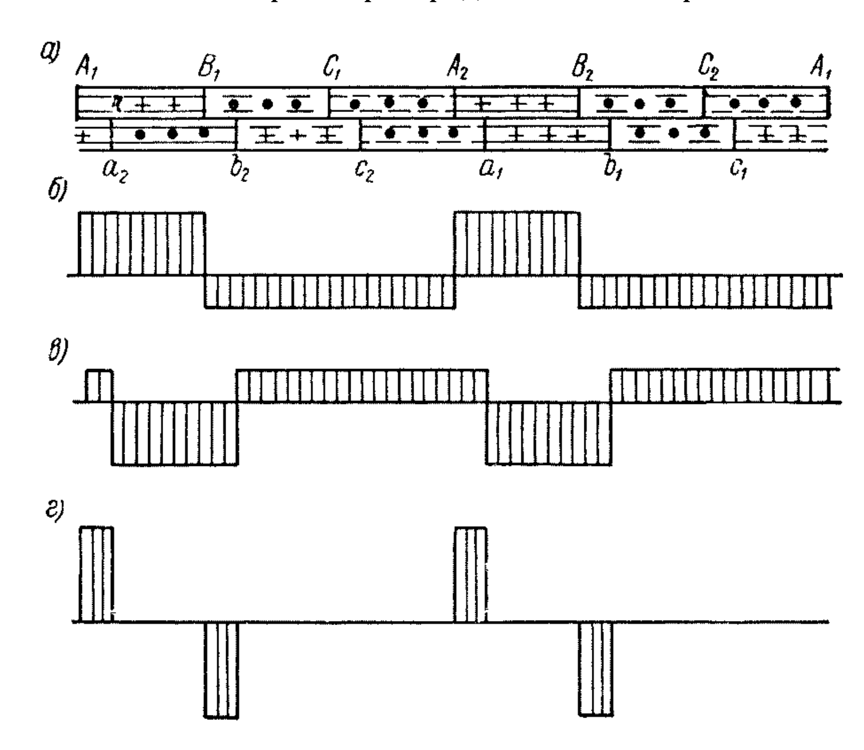


Рис. 2–122. Кривая распределения тока при n = 9.

Условимся в дальнейшем считать, что число пазов равно бесконечности, т. е. что стороны катушек лежат вплотную друг к другу. Тогда распределение тока можно условно изобразить графически в виде прямоугольника, высота которого пропорциональна мгновенному значению тока. Если ток на участке течет от нас, условимся откладывать прямоугольник вверх от горизонтальной оси, если же ток имеет направление на нас – то вниз от оси. Пользуясь такими условностями, получим, что после сложения прямоугольников распределения тока верхнего (рис. 2–120, *а*, *б*) и нижнего (рис. 2–120, *в*) слоев на участке обмотки 1–2 (рис. 2–120, *г*) ток имеет направление от нас, а на участке 3–4 – на нас. Таким образом, обмотка при n = 3 имеет кривую распределения тока, м. д. с. и поля с $2p$ = 2. При n = 6 (рис. 2–121) результирующий ток обмотки равен нулю, так, как участки a_1b_1, b_1c_1, c_1a_2 и т. д. при данном шаге катушек располагаются под одноименными участками A_1B_1, и B_1C_1, C_1A_2 и т. д. с противоположными по направлению и равными по величине токами.

На рис. 2–121, *б* показана кривая распределения тока верхнего слоя g, а на рис. 2–121, *в* – нижнего слоя. Складывая эти кривые, получим, что результирующий ток равен нулю. Чтобы результирующий ток не был равен нулю, нужно уменьшить или увеличить ширину катушки.

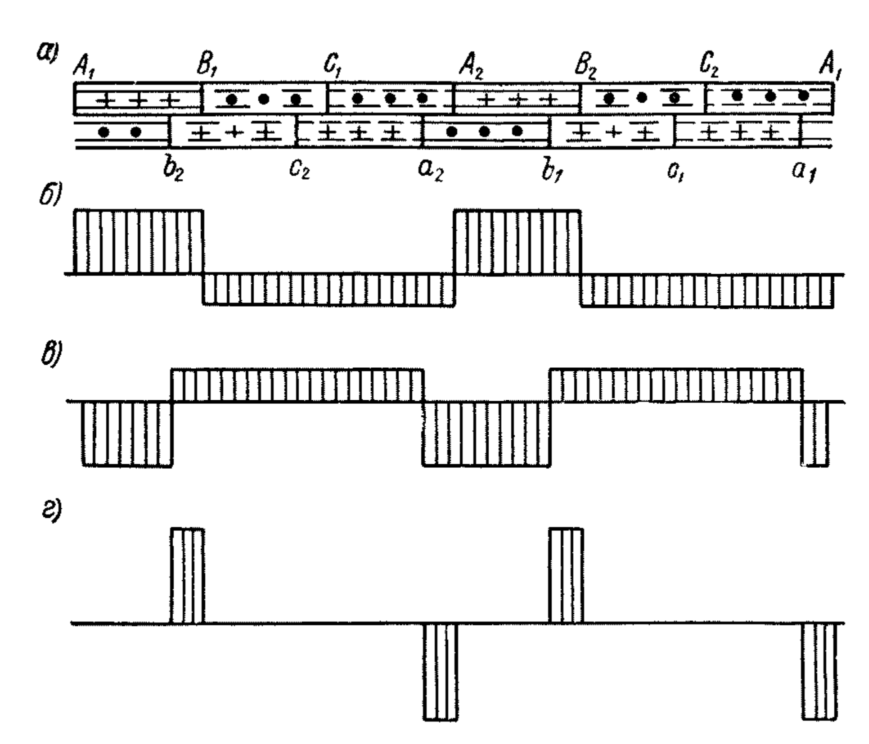


Рис. 2–123. Кривая распределения тока при *n* = 6 и укороченном шаге.

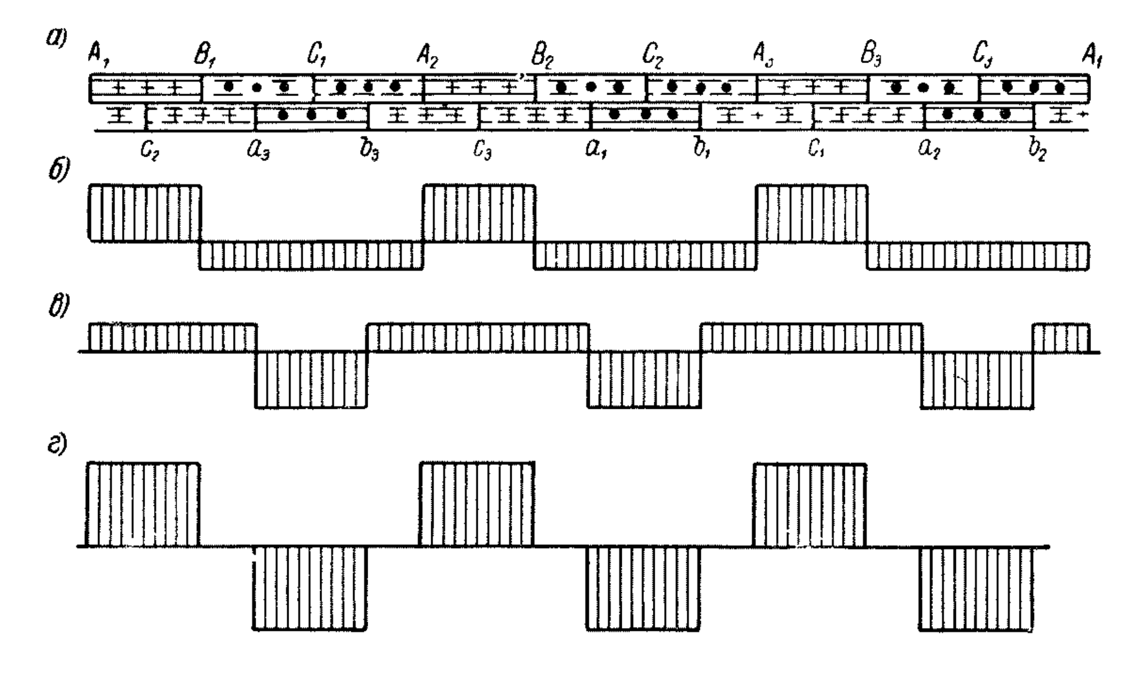


Рис. 2–124. Кривая распределения тока при *n* = 9.

На рис. 2–122 изображены кривые распределения токов слоев при увеличенном, а на рис. 2–123 при уменьшенном шаге катушки. В том и другом случаях обмотка создает магнитное поле с $2p = 4$. На рис. 2–124 таким же путем построены кривые распределения тока слоев при n = 9. Кривая результирующего тока (рис. 2–124, *г*) показывает, что обмотка создает магнитное поле с $2p = 6$. Таким образом, при соответствующем подборе шага катушек можно от одной и той же обмотки получить различное число полюсов, которое равно $2p = 2n/3$. В виде примера на рис. 2–125, *а* приведена схема обмотки при $Z = 36$ с переключением числа полюсов для $2p = 8, 6, 4$.

Так как, согласно предыдущему, $2p = 2n/3$, при $2p = 8$ обмотка имеет $n = 3 \times 4 = 12$ равноудаленных выводных концов, расстояние между которыми: $a = Z/n = 36/12 = 3$. Обозначая выводной конец по номеру паза, в котором лежит верхняя сторона катушки, присоединяемой к выводу, получим для $2p = 8$ (рис. 2–125, *г* и *д*) следующие номера концов – 2, 4, 7, 20, 13, 16, 19, 22, 25, 28, 31, 34. При $2p = 6$ (рис. 2–125, *в*) выводов будет $n = 3 \times 3 = 9$. Расстояние между ними: $a = Z/n = 36/9 = 4$. Номера выводов при 2р × 6 будут: 2, 5, 9, 13, 17, 21, 25, 29, 33. При $2p = 4$ (рис. 2–125, *б*) выводных концов будет $n = 3 \times 2 = 6$. Расстояние между ними $a = Z/n = 36/6 = 6$. Номера выводов при $2p = 4$ будут: 2, 7, 13, 19, 25, 31. Сопоставляя номера выводов, получаем, что некоторые из них являются общими (2, 13, 25) при всех числах полюсов. Всего выводов будет 18.

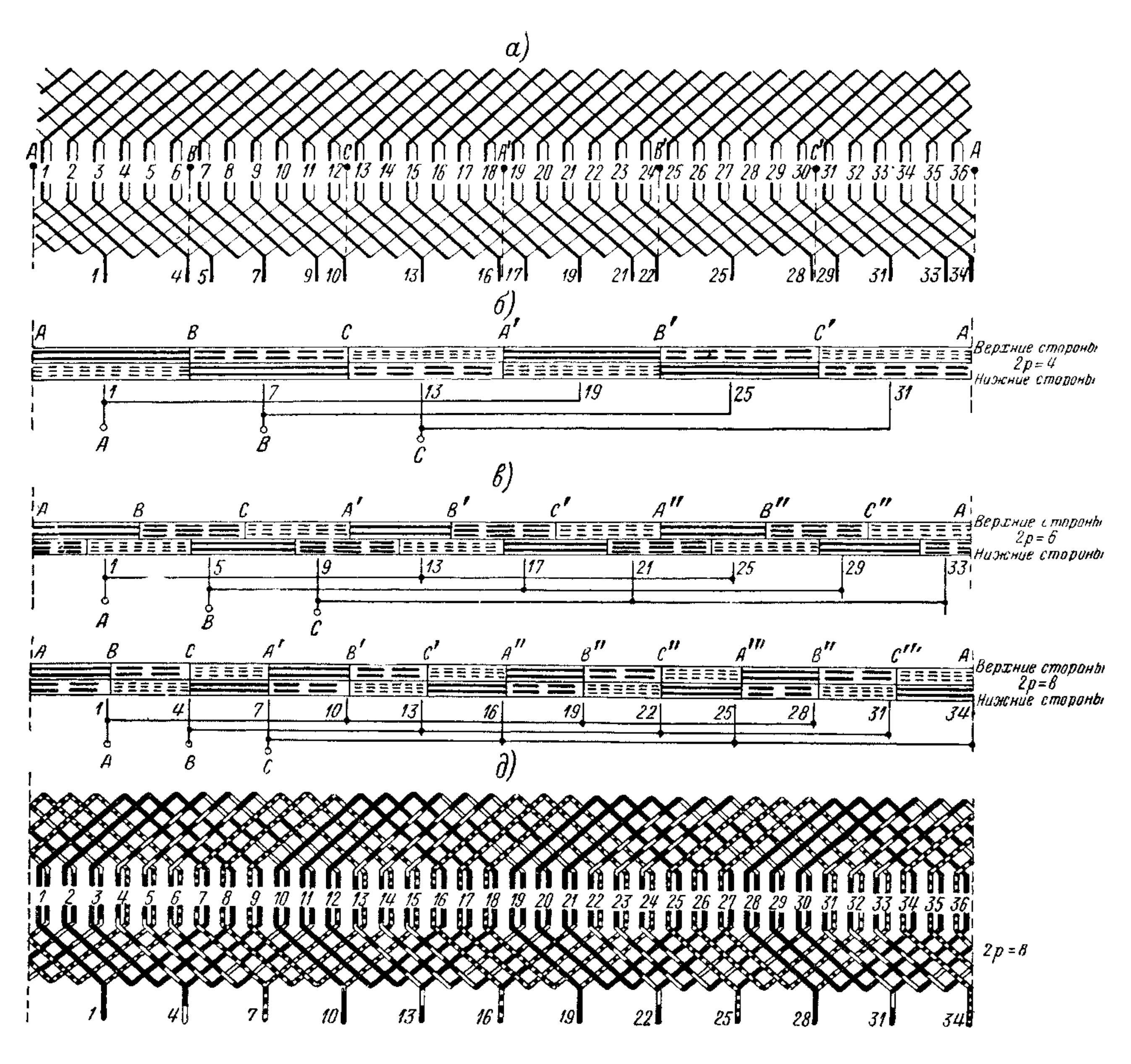


Рис. 2–125. Схема и соединение ответвлений петлевой обмотки постоянного тока при питании ее от трехфазной сети для $2p = 4, 6, 8$.

в. Изменение числа полюсов посредством переключения частей обмоток из одной фазы в другую

Если рассмотренную выше обмотку разрезать в трех равноудаленных друг от друга точках, то получим трехфазную двухслойную двухполюсную обмотку с диаметральным шагом и шириной фазных участков, равной ⅔τ. Распределение катушек по фазам A, B и C ясно видно из рис. 2–126, на котором изображена обмотка, имеющая $Z = 12$.

Внизу под схемой показаны фазные участки слоев. Так как ток в нижних фазных участках имеет направление, противоположное токам верхних участков, перед обозначениями поставлены знаки минус. В виде примера составим схему обмотки $Z = 36$ с переключением числа полюсов $2p = 8, 6$. Так как при ширине фазного участка ⅔ τ на пару полюсов приходится по 3 участка, то при $2p = 6$ и $2p = 8$ обмотка должна иметь соответственно 9 и 12 фазных участков. В соответствии с этим на рис. 2–127 приведена разбивка верхних и нижних слоев по фазным участкам. При $2p = 6$ фазный участок будет иметь по 36/9= 4 катушки, а при $2p = 8$ по 36/12 = 3 катушки. Получим следующее распределение катушек по фазам:

Фаза А	$2p = 6$ катушки	1, 2, 3, 4, 13, 14, 15, 16, 25, 26, 27, 28
	$2p = 8$ катушки	1, 2, 3, 10, 11, 12, 19, 20, 21, 28, 29, 30
Фаза В	$2p = 6$ катушки	5, 6, 7, 8, 17, 18, 19, 20, 29, 30, 31, 32
	$2p = 8$ катушки	4, 5, 6, 13, 14, 15, 22, 23, 24, 31, 32, 33
Фаза С	$2p = 6$ катушки	9, 10, 11, 12, 21, 22,23, 24, 33, 34, 35, 36
	$2p = 8$ катушки	7, 8, 9, 16, 17, 18, 25, 26, 27, 34, 35, 36

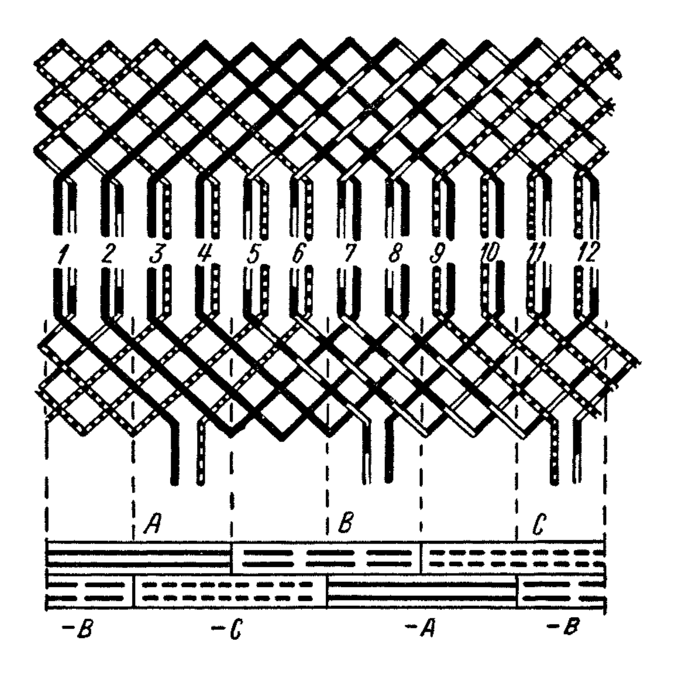


Рис. 2–126. Схема разрезной двухполюсной обмотки постоянного тока.

Для того чтобы можно было легче узнать к какой фазе принадлежит та или иная катушка при $2p = 6$ и при $2p = 8$ и для облегчения составления схемы соединения катушек, найдем участки верхнего слоя обмотки (рис. 2–127, *б*), на которых при $2p = 8$ и при $2p = 6$ катушки принадлежат одной какой–то фазе. Так, например, катушки 1, 2, 3 принадлежат фазе А при обоих числах полюсов, а катушка 4 при $2p = 6$ принадлежит фазе А, а при $2p = 8$ – фазе 5. Если взять еще какие–либо катушки, например 19, 20, то увидим, что при $2p = 6$ эти катушки принадлежат фазе 5, а при $2p = 8$ – фазе А (рис. 2–127, *а* и *б*). Оказывается, что в общем случае обмотки на два числа полюсов имеют девять различных частей, которые различным образом соединяются между собой при переключении. Принадлежность этих частей различным фазам при различном числе полюсов показана на рис. 2–127, *в*, слева. Изображая верхние слои указанных частей обмотки в виде прямоугольников, получим распределение катушек по девяти частям (рис. 2–127, *в*). Так, например, к части 1 отнесены катушки, которые при обоих числах полюсов принадлежат фазе А. Такими катушками оказались 1, 2, 3 и 28, что изображено двумя прямоугольниками, расположенными по горизонтальной прямой. К участку 2 отнесены катушки 5, 6 и 31, 32, которые принадлежат фазе В при обоих числах полюсов. К участку 7 отнесены катушки, которые при $2p = 6$ принадлежат фазе А, а при $2p = 8$ – фазе В. Такими катушками оказались 4 и 13, 14, 15.

Следовательно, рис. 2–127, *в* позволяет легко определить, какой фазе принадлежит та или иная катушка при $2p = 6$ и при $2p = 8$. Таким образом, обмотка будет иметь девять отдельных частей, состоящих из четырех катушек. Каждая часть обмотки состоит из двух групп катушек, причем в некоторых частях (2, 4 и 9) эти группы имеют по две катушки, а в остальных частях (1, 3, 5, 6, 7 и 8) одна группа имеет три катушки, а другая – одну. Катушки одной и той же части обмотки обычно соединяются между собой последовательно. Поэтому в общем случае мы получим 18 концов.

Верхние концы обозначим номером соответствующей части обмотки, а нижние – тем же номером, но со штрихом вверху.

№ частей и обмотки	2p = 8	2p = 6
1	A	A
2	B	B
3	C	B
4	A	B
5	A	C
6	B	C
7	B	A
8	C	A
9	C	B

Рис. 2–127. Схема и распределение частей обмотки при 2p = 6, и 2p = 8.

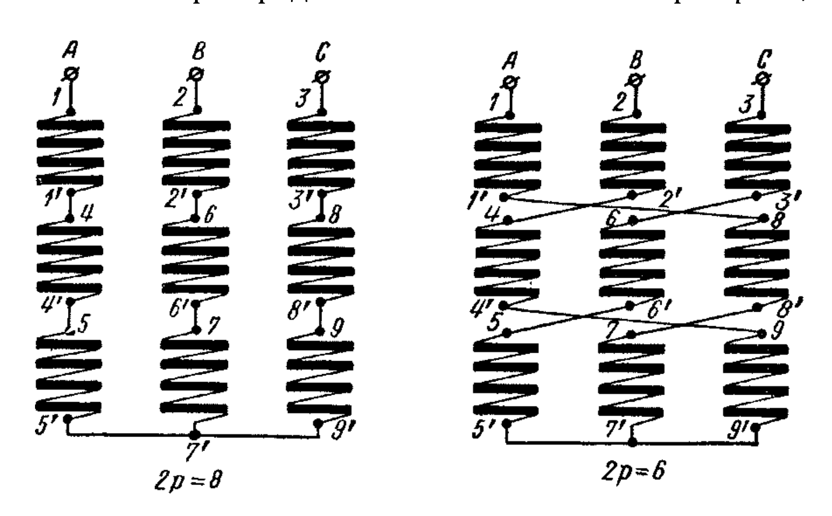


Рис. 2–128. Схема соединения обмотки при 2p = 8 и 2p = 6.

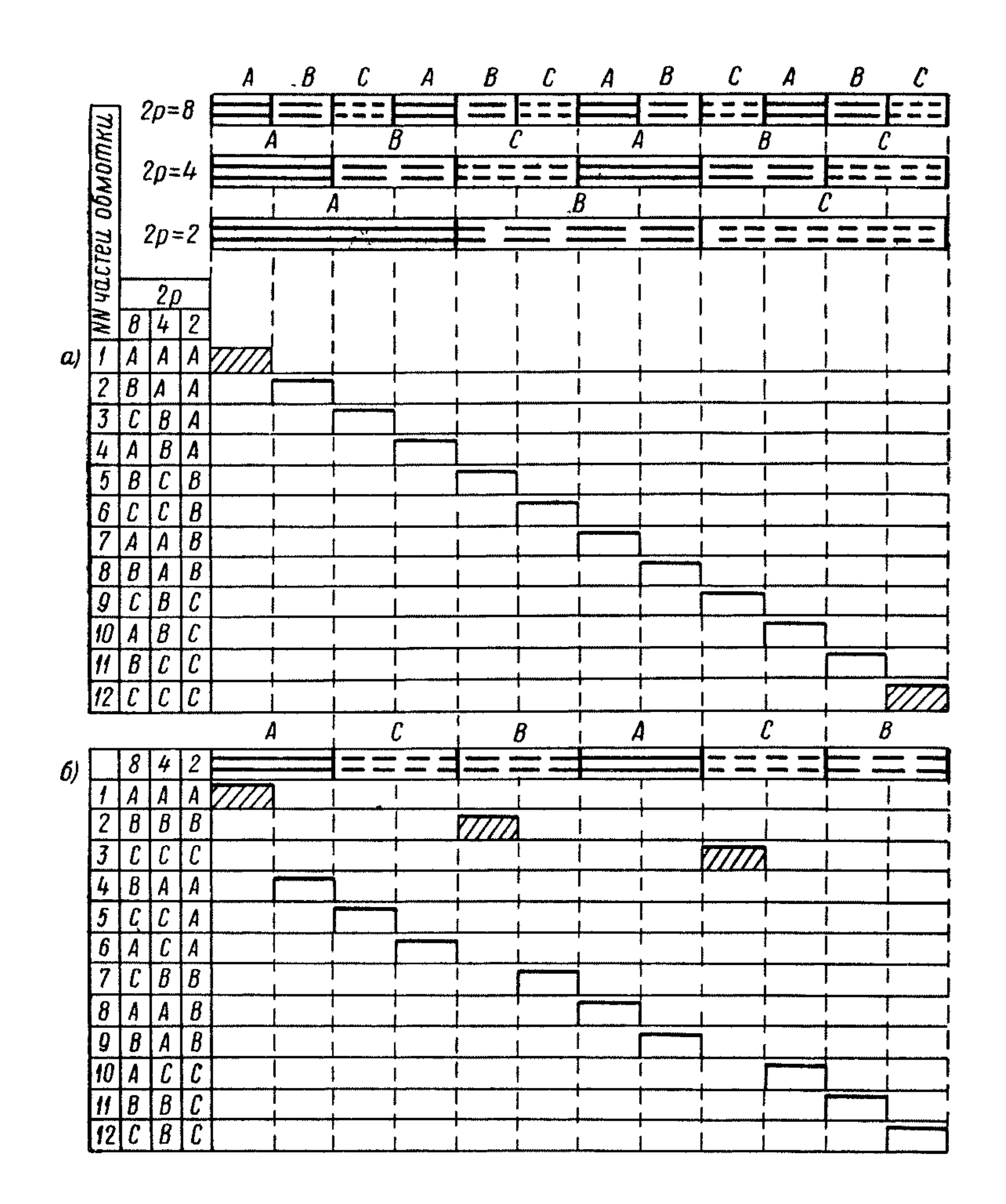


Рис. 2–129. Распределение фазных участков обмотки при $2p$ = 8, 4, 2.

Что касается способа соединения между собой отдельных частей обмотки, то оно, в основном, зависит от требующегося соотношения моментов вращения при той и другой скоростях вращения электродвигателя. В соответствии с этим выбираются схема соединения частей обмотки, число параллельных ветвей, соединение фаз и ширина катушек. Предположим, что по данным расчета при $2p$ = 8 и $2p$ = 6 обмотка должна иметь одну ветвь в фазе и соединение фаз звездой. Тогда, согласно рис. 2–127, *в*, чтобы получить $2p$ = 8 , мы должны для фазы А взять части 2, 4 и 5 обмотки и соединить их последовательно, причем часть 1 даст фазный участок A_1 и часть фазного участка A_4, часть 5 даст фазный участок A_2 и часть фазного участка A_3, а часть 4 дополнит фазные участки A_3 и A_4. Для того чтобы получить обмотку фазы А при $2p$ = 6, мы должны соединить последовательно части обмотки 2, 7 и 8, причем часть обмотки 1 заполнит часть фазного участка A_1 и A_3 часть обмотки 8 заполнит недостающую часть фазного участка A_3 и часть фазного участка A_2, а часть обмотки 7 заполнит недостающие части фазных участков A_1 и A_2.

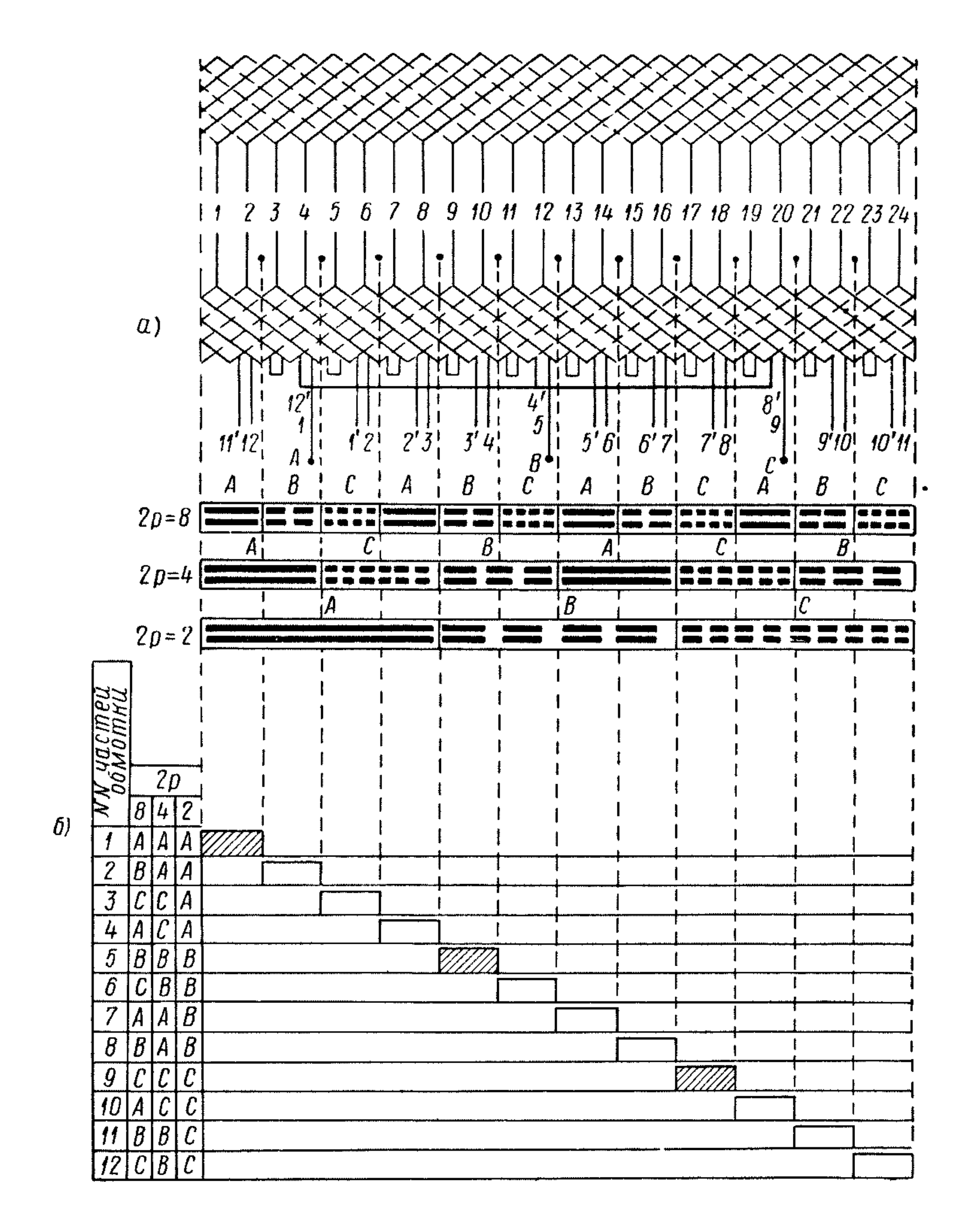


Рис. 2–130. Другой способ распределения фазных участков обмотки при $2p$ = 8, 4, 2.

Поступая таким же образом с остальными фазами обмотки, получим схему соединений частей обмотки при $2p$ = 8 и $2p$ = 6 (рис. 2–128). Так как концы 5', 7' и 9' остаются включенными в нулевую точку при обоих числах полюсов, их можно не выводить к коробке зажимов. Таким образом, рассматриваемая обмотка при переключении ее с $2p$ = 8 на $2p$ = 6 имеет 15 выводных концов (см. рис. 2–127, *а*).

В случае переключения обмотки на три различных числа полюсов число частей обмотки увеличивается до 12. На рис. 2–129, а приведена разбивка верхнего слоя двухслойной разрезной обмотки постоянного тока при $2p$ = 8, $2p$ = 4 и $2p$ = 2. В этом случае катушечные группы только частей 1 и 12 остаются принадлежащими одной и той же фазе при различном числе полюсов, все же остальные катушечные группы должны переключаться из одной фазы в другую. Число выводных концов можно несколько уменьшить, если изменить чередование фаз при $2p$ = 4 (рис. 2–129, *б*). В этом случае не две, а три части обмотки 1, 2 и 3 оказываются принадлежащими одним и тем же фазам.

В виде примера на рис. 2–130 приведена схема двухслойной разрезной обмотки постоянного тока, переключаемой на 8, 4 и 2 полюса. Обмотка имеет 24 катушки. Каждые две соседние катушки ($Z/3 \times p$ = 24/3 × 4 = 2) соединяются последовательно, что дает фазный участок при наибольшем числе полюсов $2p$ = 8. Разбивка двенадцати частей обмотки по фазам приведена на рис. 2–130, *б*. Части 1, 5 и 9 оказываются принадлежащими одним и тем же фазам при любом числе полюсов, поэтому они остаются не переключаемыми. Схема переключения частей обмотки приведена на рис. 2–131.

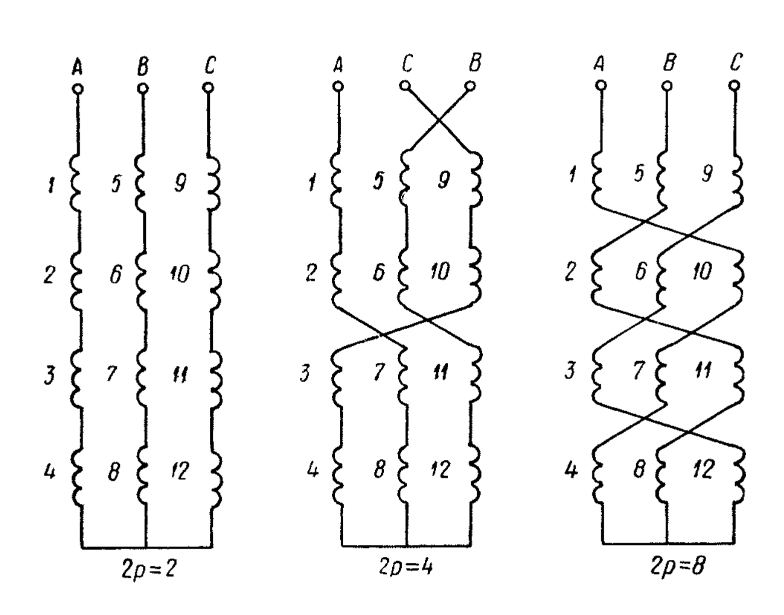


Рис. 2–131. Схема соединения частей обмотки при $2p$ = 8, 4, 2.

г. Переключение числа полюсов посредством изменения тока в отдельных частях обмотки.

В настоящие время наиболее часто применяется переключение числа полюсов в отношении 1:2. В наиболее распространенных петлевых двухслойных трехфазных обмотках переключение числа полюсов в отношении 1:2 проще всего осуществляется изменением направления тока в отдельных частях обмотки. Для этого берут обмотку с шириной фазной зоны ⅔τ, где τ – полюсной шаг при большем числе полюсов. Шаг катушек берут равным или примерно равным полюсному шагу также при большем числе полюсов. Таким образом, обмотка имеет по три катушечные группы на пару полюсов, а всего $3p$ катушечных групп, где p – большее число пар полюсов. Так, например, обмотка с переключением числа полюсов с $2p$ = 8 на $2p$ = 4: должна иметь 3р = 3 × 4 = 12 катушечных групп. При ширине фазного участка, равного ⅔τ, соседние участки одной и той же фазы при большем $2p$ располагаются на расстоянии ⅔τ×3 = 2τ, т. е. через три катушечные группы. На рис. 2–132, *а* показано распределение сторон катушек по фазным участкам. Ввиду того что ширина фазного участка равна 120 эл. градусов, участок 2 будет принадлежать фазе В и будет первым фазным участком фазы В. Таким образом, распределение фазных участков и катушечных групп при большем числе полюсов в общем случае будет следующим:

Фаза А:	1, 4, 7, 10, 13		($3p$ – 2)
Фаза В:	2, 5, 8, 11, 14		($3p$ – 1)
Фаза С:	3, 6, 9, 12, 15		($3p$)

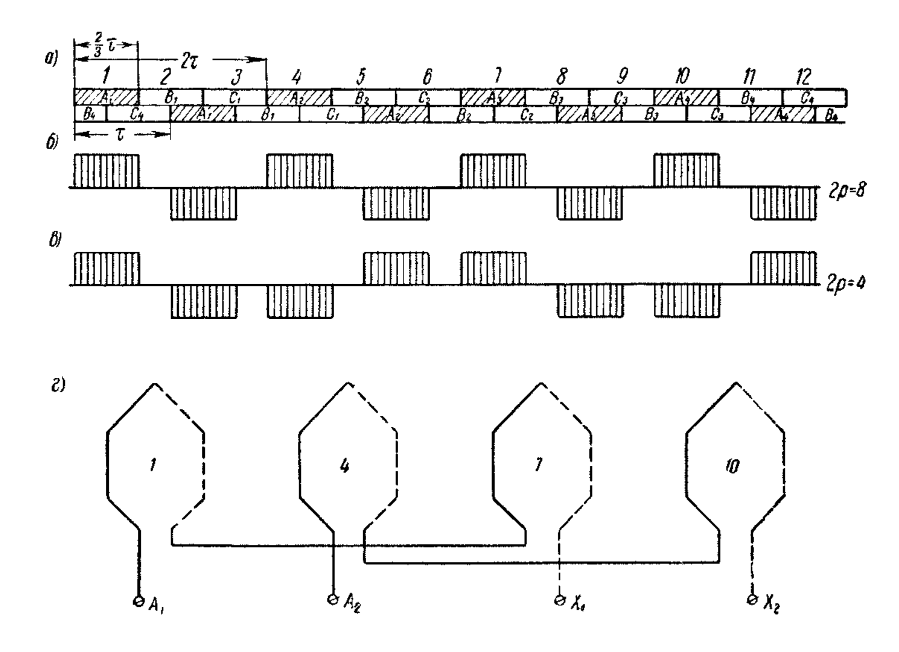


Рис. 2–132. Кривая распределения тока одной фазы при $2p$ = 8, 4 и образование параллельных ветвей.

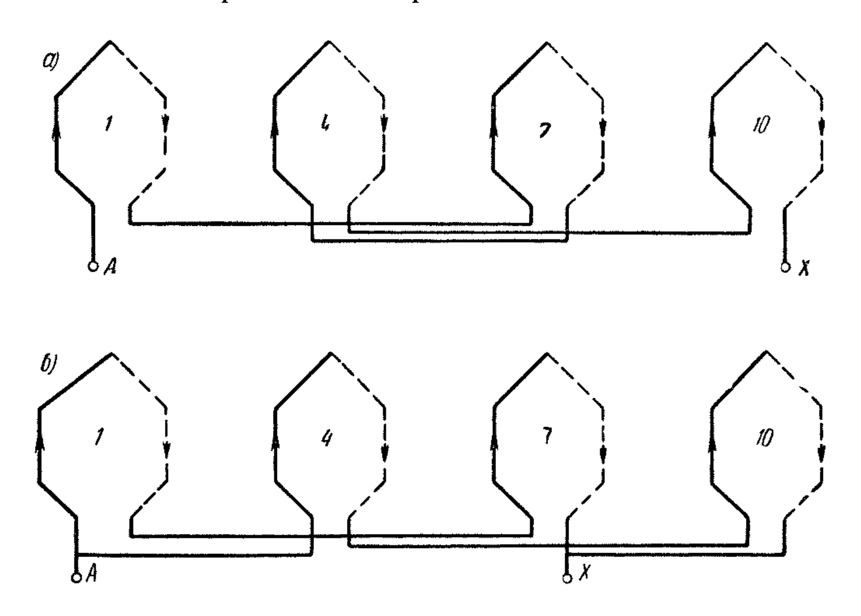


Рис. 2–133. Схема последовательного (*а*) и параллельного (*б*) соединений ветвей при большем числе полюсов.

Вследствие того, что соседние катушечные группы одной и той же фазы расположены на $2m$, направление тока в них одинаково. На рис. 2–132, *б* показано распределение тока на фазных участках заштрихованной фазы А. Если в одной половине катушечных групп, например в четных, изменить направление тока, то распределение тока фазных участков фазы будет четырехполюсным (рис. 2–132, *в*). Так как во всех нечетных группах фазы ток имеет одинаковое направление при обоих числах полюсов, то эти группы можно соединить последовательно. То же самое можно сделать и с четными группами. В результате в каждой фазе получим по четыре вывода независимо от числа полюсов:

в фазе А	$A_1 - X_1$ от нечетных групп
	$A_2 - X_2$ от четных групп
в фазе В	$B_1 - Y_1$ от нечетных групп
	$B_2 - Y_2$ от четных групп
в фазе С	$C_1 - Z_1$ от нечетных групп
	$C_2 - Z_2$ от четных групп

На рис. 2–132, *г* приведены схемы последовательного соединения нечетных (2 и 7) и четных (4 и 10) катушечных групп обмотки при большем числе полюсов 2*p* = 8.

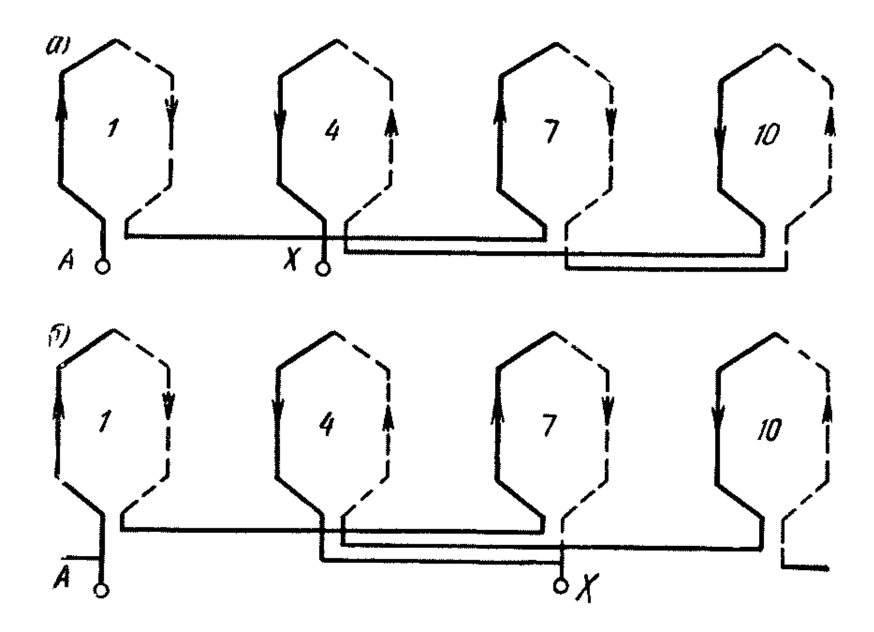


Рис. 2–134. Схема последовательного (*а*) и параллельного (*б*) соединений ветвей при меньшем числе полюсов.

В зависимости от заданного соотношения между моментами вращения при большем и меньшем числе полюсов отдельные ветви фаз между собой соединяются последовательно или параллельно. На рис. 2–133 приведены схемы последовательного (рис. 2–133, *а*) и параллельного (рис. 2–133, *б*) соединения ветвей при большем, а на рис. 2–134, *а*, *б* при меньшем числе полюсов. Чтобы электродвигатель вращался в одном направлении при обоих числах полюсов, необходимо, чтобы поле статора вращалось в одном направлении, что требует одинакового чередования фаз обмотки при большем и меньшем числе полюсов. Но если при большем числе полюсов расстояние между соседними фазными участками составляет ⅔τ = ⅔×180 = 120 эл. градусов, то при переключении на меньшее число полюсов это расстояние будет составлять всего 60 эл. градусов, и поэтому фазный участок 2 при большем числе полюсов следует отнести к фазе B, в то время как при меньшем числе полюсов первым участком фазы B надо взять участок 3. Таким образом, при переходе с одного числа полюсов на другое, кроме переключения ветвей фаз с целью изменения направления тока в половине групп, необходимо еще изменить чередование фаз, т. е. поменять местами (перекрестить) две любые фазы при том или ином числе полюсов.

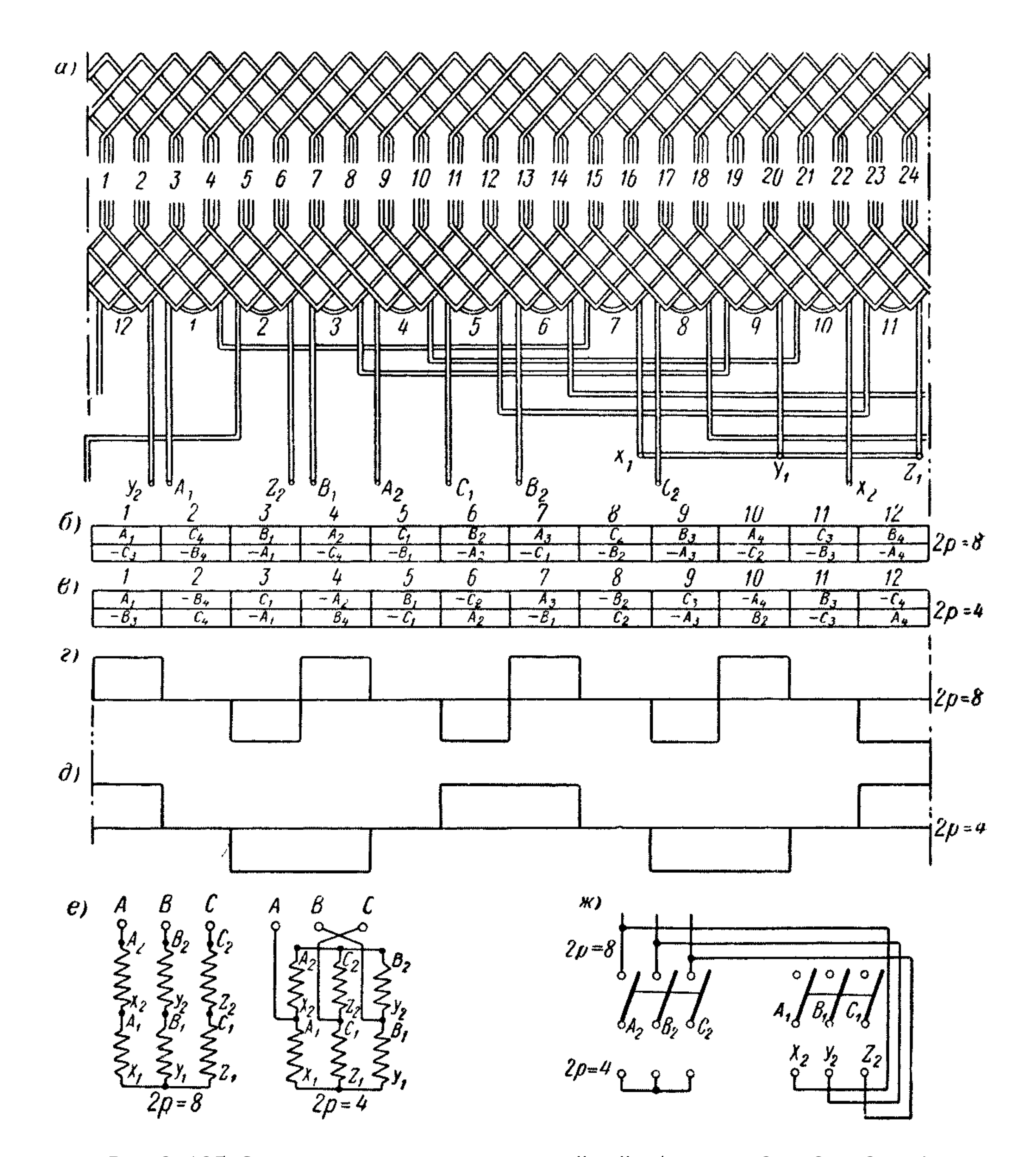


Рис. 2–135. Схема переключения двухслойной обмотки с $2p = 8$ на $2p = 4$.

На практике чаще пользуются следующими схемами соединения фаз:

△ /YY, YY/ △, Y/YY и YY/Y

где вверху поставлено соединение для большего, а внизу для меньшего числа полюсов. На рис. 2–135, *а* приведена схема с выводами для соединения обмотки Y/YY, шаг катушек взят удлиненным. На рис. 2–135, *б*, в показано распределение фазных участков; для сохранения направления вращения изменено расположение фаз B и C, а на рис. 2–135 *г*, *д* показано распределение тока на фазных участках для момента времени, когда токи в фазах B и C имеют одинаковую величину и направление. Из рисунков видно, что число полюсов изменяется в два раза. Схемы соединения отдельных ветвей обмотки и схема переключателя приведены на рис. 2–135, *е* и *ж*. Схема имеет всего 12 выводов: из них концы X_1 Y_1 и Z_1 соединены в нулевую точку при $2p = 8$ и при $2p = 4$; причем их можно не выводить к переключателю. Кроме того, при $2p = 8$ и при $2p = 4$ остаются соединенными A_1 с X_2, B_1 с Y_2 и C_1 с Z_2, поэтому вместо 12 выводов достаточно к переключателю подвести только 6. Таким образом, эта обмотка имеет только 6 выводов.

На рис. 2–136, *а* приведена схема переключаемой обмотки с $2p = 12$ на $2p = 6$. При $2p = 6$ обмотка соединяется в двойную звезду. При $2p = 12$ обмотка соединяется одиночным треугольником. На рис. 2–136, *б* приведена схема одной стороны треугольника, а на рис. 2–136, *в* приведена схема одного плеча звезды. На рис. 2–137 показаны схемы соединения ветвей при треугольнике (рис. 2–137, *а*) и при звезде (рис 2–137, *б*), а на рис. 2–137, *в*, дана схема переключателя. На рис. 2–138 изображена схема обыкновенной четырехполюсной однослойной обмотки с $Z = 48$. Катушечные группы в каждой фазе соединены последовательно через одну группу. Так, группа 1 соединена последовательно с группой 5, а группа 2 с группой 4. При $2p = 4$ вывод 3 соединяют с концом 4. Если предположить, что ток входит в обмотку от зажима 1, получим распределение тока, указанное стрелками вверху. Для того чтобы получить от обмотки восьмиполюсное магнитное поле, изменим направление тока в катушечных группах 2 и 4, соединяя между собой концы 3 и 5. Тогда получим распределение тока, указанное стрелками внизу. В первом случае ток в фазе обмотки меняет свое направление 4 раза, а во втором 8 раз, что указывает на то, что в первом случае $2p = 4$, а во втором $2p = 8$.

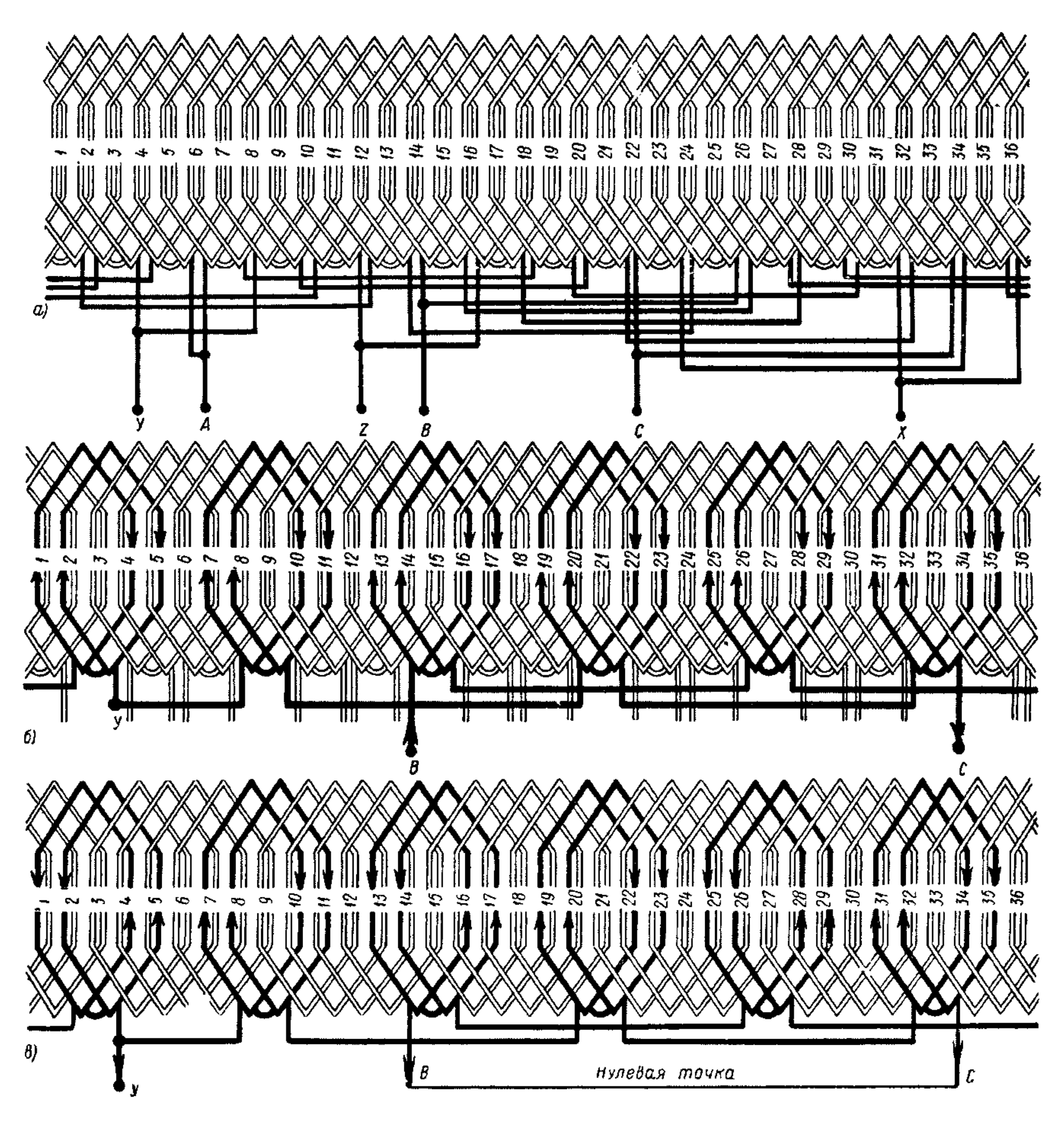


Рис. 2–136. Схема двухслойной обмотки при $2p = 12$ на $2p = 6$, $Z = 36$.

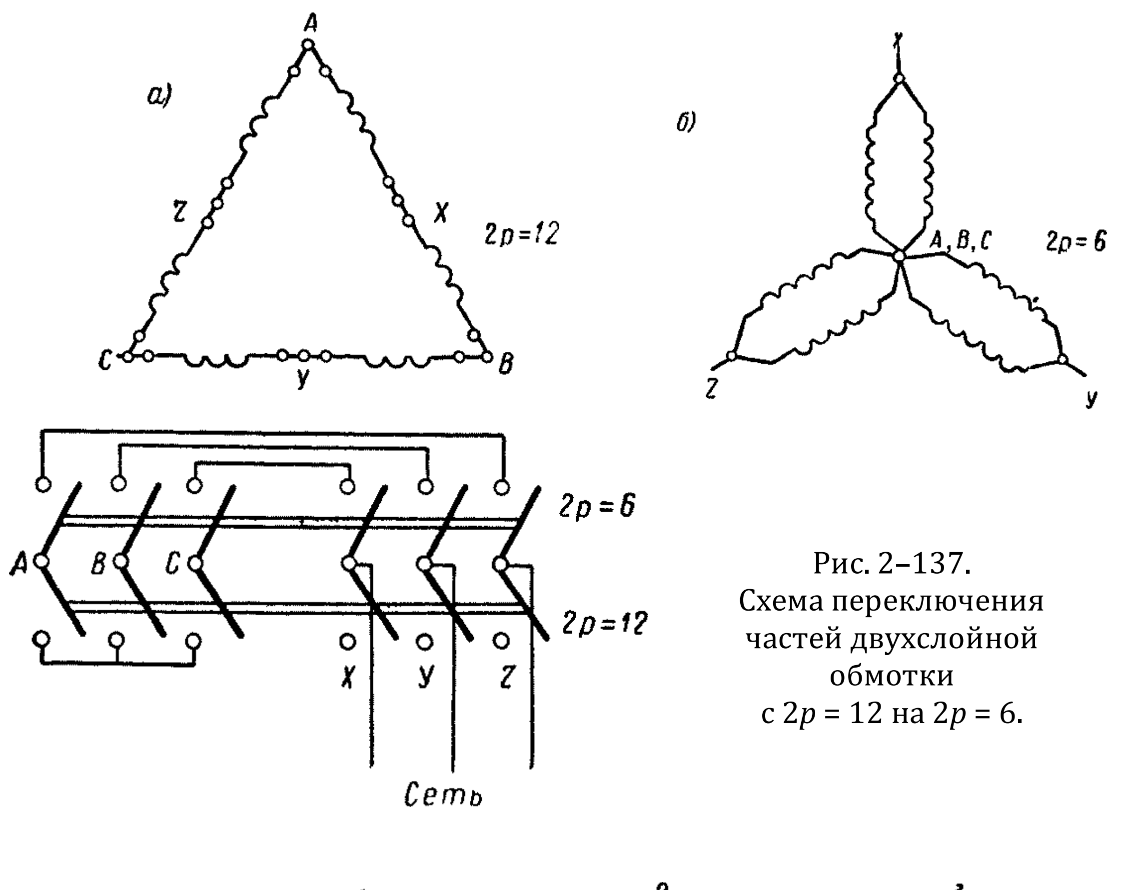


Рис. 2–137.
Схема переключения частей двухслойной обмотки с $2p = 12$ на $2p = 6$.

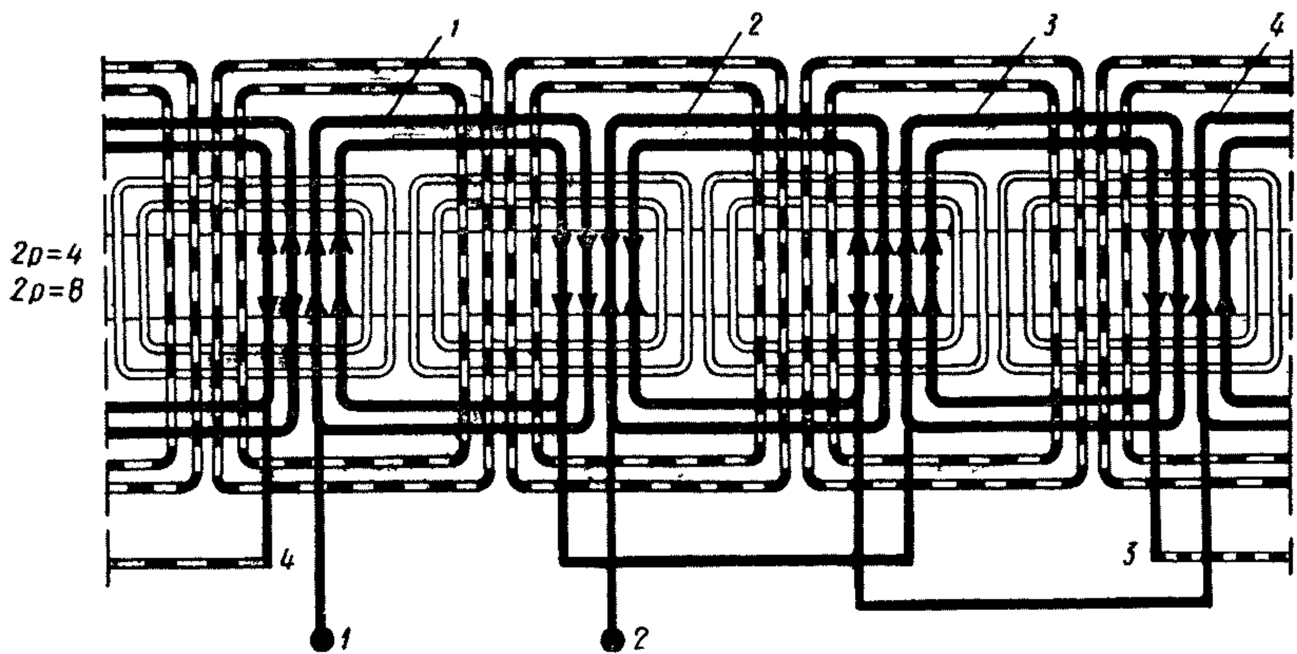


Рис 2–138. Схема однослойной обмотки, переключаемой с $2p = 8$ на $2p = 4$, $Z = 48$.

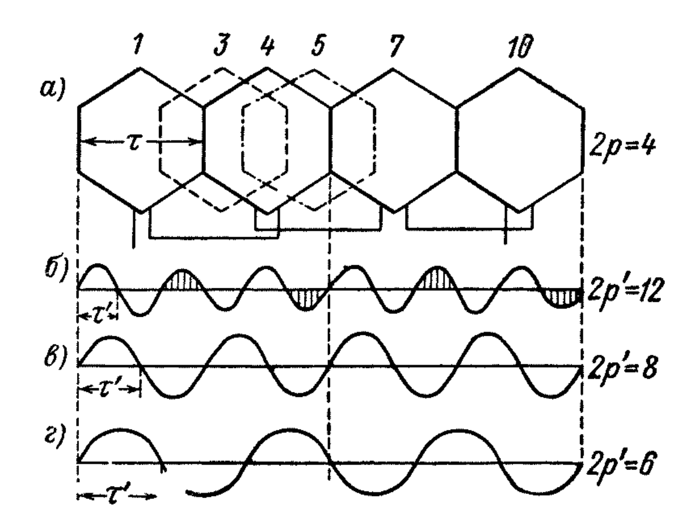


Рис. 2–139. Схема обмотки при $2p$ = 4 и кривые поля при $2p'$ = 12, 8, 6.

д. О многоскоростных двигателях с двумя обмотками.

В многоскоростных двигателях с двумя обмотками в статоре при работе включается только одна обмотка. Если не включенная обмотка соединена треугольником или имеет параллельные ветви, то цепь ее оказывается замкнутой, и вращающееся магнитное поле работающей обмотки может вызвать в ней э. д. с. и ток, что, конечно, нежелательно. В этих случаях неработающую обмотку рекомендуется размыкать. Рассмотрим вначале двухскоростной двигатель с двумя нормальными двухслойными статорными обмотками. Предположим, что неработающая обмотка имеет $2p$ = А. Для рассмотрения данного вопроса достаточно взять схему одной фазы и принять q = 1 (рис. 2–139, *а*). Предположим далее, что работающая обмотка создает вращающееся поле с $2p$ = 8 (рис. 2–139, *в*), $2p$ = 12 (рис. 2–139, *б*), $2p$ = 6 (рис. 2–139, *г*). Сопоставляя эти рисунки с рис. 2–139, *а* мы видим, что в случае $2p$ = 8 магнитный поток, пересекающий катушки неработающей обмотки с диаметральным шагом, всегда равен нулю, и поэтому поле работающей обмотки не будет индуктировать э. д. с. и ток в неработающей обмотке.

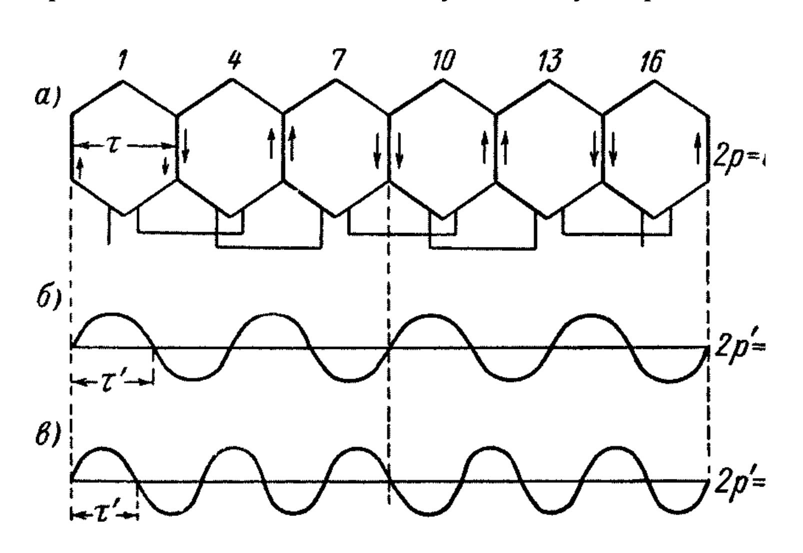


Рис. 2–140. Схема обмотки при $2p$ = 6 и кривые поля при $2p'$ = 8, 10.

Если бы катушки неработающей обмотки имели укороченный шаг, то и в этом случае результирующая э. д. с. фазы от поля работающей обмотки была бы равна нулю, ибо все катушечные группы 2, 4, 7, 10 попадают в совершенно одинаковые по величине и полярности магнитные условия, а так как катушечные группы 1 и 7 включены навстречу группам 4 и 10, то э. д. с. группы взаимно уничтожаются. Очевидно, это будет иметь место в тех случаях, когда число полюсов поля работающей обмотки в четное число раз больше числа полюсов неработающей обмотки. В действительности поле обмотки не синусоидально, и, кроме основной гармоники, число полюсов которой равно числу полюсов обмотки, имеются еще высшие гармоники поля, число полюсов которых в 3, 5, 7 раз и т. д. больше, чем у основной. Но в рассмотренном случае число полюсов высшей гармоники поля также будет больше в четное число раз числа полюсов неработающей обмотки, и поэтому они также не будут индуктировать э. д. с. Совершенно другой результат получается, когда число полюсов поля работающей обмотки больше числа полюсов неработающей обмотки в нечетное число раз (рис. 2–139, *а* и *б*). В этих случаях катушечные группы 1, 4, 7, 10 также попадают в одинаковые магнитные условия, но противоположных полярностей, и поэтому э. д. с. групп 1, 7 будет противоположна по фазе э. д. с. групп 4, 10 и результирующая э. д. с. фазы уже не равна нулю.

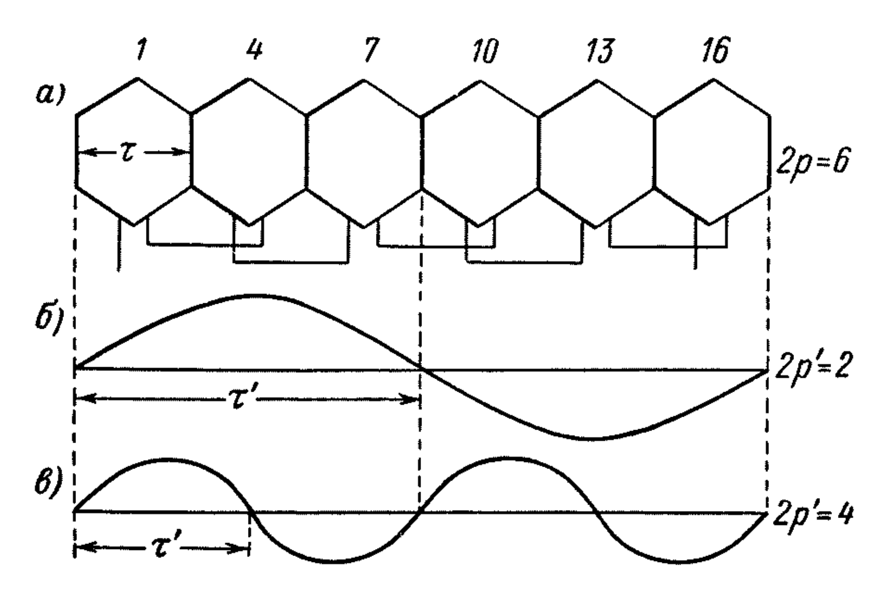


Рис. 2–141. Схемы обмотки при $2p = 6$ и кривые поля при $2p' = 2, 4$.

Результирующая э. д. с. трех фаз оказывается в три раза больше э. д. с. одной фазы, так как катушечные группы двух других фаз сдвинуты от группы первой фазы на четное число полюсных шагов поля. На рис. 2–139, а катушечная группа 3 сдвинута от группы 1 на 2τ', а группа 5 – на 4τ' На рис–2–139, *г* приведены кривые поля для случая, когда $2p = 6$, т. е. когда число полюсов работающей обмотки больше числа полюсов неработающей в нецелое число раз. Принимая число полюсов неработающей обмотки $2p = 4$ (рис 2–139, *а*), получим, что э. д. с. катушечной группы 1 будет равна и противоположна по фазе э. д. с. группы 7, а э. д. с. группы 4 противоположна э. д. с. группы 10, и в результате э. д. с. фазы будет равна нулю. На рис. 2–140, *а*, *б* же изображена схема одной фазы неработающей обмотки с $2p = 6$ и кривые поля с $2p = 8$ и $2p = 10$, которые показывают, что и в этих случаях э. д. с. фазы оказывается равной нулю, так как при $2p = 8$ э. д. с. группы 1 компенсируется э. д. с. группы 10, э. д. с. группы 4 компенсируется э. д. с. группы 13 и э. д. с. группы 7 компенсируется э. д. с. группы 16. При $2p = 10$ суммы э. д. с. групп 1, 4, 7, и также групп 10, 13 и 16 оказываются равными нулю. На рис. 2–141, а изображена схема одной фазы неработающей обмотки с $2p = 6$, когда число полюсов работающей обмотки оказывается меньше ее числа полюсов. При $2p = 4$ работающей обмотки (рис. 2–141, *в*) результирующая э. д. с. фазы равна нулю, ибо э. д. с. групп 1 и 10, 4 и 13, 7 и 16 взаимно уничтожаются, так как эти группы попадают в одинаковые магнитные условия, но включены навстречу друг другу. При $2p = 2$ работающей обмотки (рис 2–141, *б*) результирующие э. д. с. групп 2, 4 и 7 и групп 10, 13 и 16 оказываются равными нулю (учитывая встречное их включение), так как э. д. с. групп оказываются сдвинутыми на 120 и 240 эл. градусов. Если на статоре неработающая обмотка является переключающейся на различное число полюсов или имеет параллельные ветви, то, построив схему обмотки и кривую поля, легко определить э. д. с. групп и результирующую э. д. с. Полной гарантии в том, что поле работающей обмотки будет иметь только нечетные гармоники, нет, и поэтому в некоторых схемах предусматривается перемычка для размыкания цепи треугольника.

Раздел второй
Материалы и конструкции обмоток

Глава третья краткие сведения о материалах для обмоток электрических машин

3–1. Металлы.

Медь. Для обмоток электрических машин применяется исключительно электролитическая отожженная красная медь. Удельное сопротивление обмоточной меди, приведенное к температуре 20°С, должно быть не более 0,01784 ом×мм^2/м. Следует иметь в виду, что прямоугольная обмоточная медь отличается от другой меди не только высокой проводимостью, но и закругленными краями, что очень важно для сохранения витковой изоляции на углах. Медь для обмоток электрических машин употребляется как голая, так и изолированная. В электромашиностроении применяются изолированные провода следующих типов или марок согласно ГОСТ 6324–52: ПВО (проволока с одним слоем хлопчатобумажной изоляции), ПБД (с двойной хлопчатобумажной изоляцией), ПЭБО (провод эмалированный с одним слоем хлопчатобумажной изоляции), ПБОО (провод бумажный с одним слоем хлопчатобумажной изоляции плюс хлопчатобумажная оплетка). В современной электротехнической промышленности используются также провода, изолированные двумя слоями бесщелочной стеклонити с применением теплостойких лаков: глифталевых и кремнийорганических (марки этих проводов – ПСД и ПСДК), и полая медь прямоугольного сечения с толщиной стенки 1,3–1,5 мм. В сечении труб не допускается вогнутость превышающая 0,1 мм. Такая трубка используется для машин с форсированным внутрипроводниковым охлаждением катушек статора. Кроме указанных марок проводов, применяется и эмалированная медная проволока с шелковой изоляцией ПЭШО (провод эмалированный с одним слоем шелковой изоляции), марки ПЭШД (провод эмалированный с двойной шелковой изоляцией), а также марки ПЭТСО (провод эмалированный, теплостойкий, изолирован одним слоем стеклянного бесщелочного волокна), ПЛК (провод лакированный карбамидным лаком), ПЭВП (провод эмалированный с винифлексовой изоляцией, прямоугольный) и ПЭВ–1, ПЭВ–2, ПЭВ–3 (круглый провод эмалированный с винифлексовой изоляцией, однослойный, двухслойный, трехслойный). Иногда используется проводник, называемый литцей; он имеет обычно прямоугольную форму и обладает большой гибкостью, так как состоит из нескольких скрученных тонких медных проводников. Размеры обмоточной меди и вес ее стандартизованы.

Алюминий. В настоящее время алюминиевые провода во многих случаях начинают находить применение в качестве заменителей медных. Это вполне возможно в ряде случаев без ухудшения качества машин и экономически целесообразно. Технологические задачи, которые связаны с применением алюминиевых проводов, успешно разрешаются промышленностью. В массовом производстве небольших асинхронных машин с короткозамкнутым ротором мощностью до 50 кВт обмотку роторов выполняют часто путем заливки алюминием.

Оловянные припои. Для пайки соединений обмоток электрических машин применяются так называемые припои. Различают припои мягкие и твердые, отличающиеся по температуре плавления. Мягкие припои представляют собой сплав олова и свинца с некоторым количеством сурьмы. Приняты наименования припоев в зависимости от содержания в них олова. Так, например, применяются припои ПОС – 61, ПОС – 40, ПОС – 30 (ГОСТ 1499–54), где цифры показывают процентное содержание олова. Содержание сурьмы в них колеблется до 2,5%, а остальное составляет свинец. Чем выше содержание олова в припое, тем он является более текучим и легче проникает в зазоры между спаиваемыми поверхностями.

Область применения и физические свойства припоев даны в табл. 3–1. Лужение перед пайкой должно производиться тем же припоем, что и пайка или припоем с более высоким содержанием олова.

Таблица 3–1

Название припоев	Температура плавления, °С	Применение
ПОС–40 ПОС–30	183–235 183–256	Пайка соединений между катушками, пайка проволочных бандажей. Ручная пайка с прутка.

Медно–фосфористый припой. Относится к так называемым твердым припоям и представляет собой сплав 7–8% фосфора и 92–93% меди (обозначается ПМФ–7). Этот припой является самофлюсующимся и не требует при пайке буры. Фосфористый припой применяется в виде тонких пластин, изготовленных следующим способом. Припой расплавляется в тигельной электропечи при t = 800 – 850°С и отливается в виде пластин толщиной около 1,5 мм., а затем эти заготовки прокатываются в валках в нагретом состоянии, при t = 500 – 600°С. В случае, если после прокатки на поверхности ленты остается окалина, ее удаляют травлением. Ленту нарезают на пластины требуемых размеров. Готовые пластины должны иметь температуру плавления 705–810°С. Другой способ получения медно–фосфористого припоя заключается в том, что тонкую медную пластину погружают в расплавленный медно–фосфористый припой, который остается на ней в виде тонкого слоя.
Серебряные припои. Используют для пайки обмоток, крупных машин, например катушек роторов синхронных машин, стержней короткозамкнутых обмоток асинхронных машин, демпферных клеток синхронных машин, а также для припайки головок в виде полых наконечников к выводным концам катушек, изготовленных из медных трубок. Примером такого припоя может служить сплав ПСр–45 по ГОСТ 8190–56, состоящий из 45% серебра, 30% меди и 25% цинка. Температура плавления такого припоя 660–720°С. Сплав ПСр15 состоит из 15% серебра, 80% меди и 5% фосфора. Этот сплав применяется в качестве припоя как заменитель припоя ПСр45. Температура плавления припоя ПСр15 635–800°С. Как и припой ПМФ–7, припой ПСр15 является самофлюсующимся и не требует применения буры при пайке меди.

3–2. Изоляционные материалы.

Изоляция обмотки электрической машины является одним из наиболее важных ее элементов. Материалы, идущие на изготовление изоляции, не должны проводить ток и разрушаться (пробиваться) под действием напряжения, которое может возникнуть между изолируемыми друг от друга частями машины. Кроме этого основного условия, изоляционные материалы должны обладать определенной теплостойкостью. Известно, что обмотка машины нагревается под действием протекающего в ней тока, причем этот нагрев передается также и изоляции. Чем больше плотность тока в проводниках обмотки, тем выше температура, развивающаяся в машине. При расчете и конструировании машины всегда стремятся достигнуть наивысших плотностей тока, так как при этом можно взять меньшее сечение проводников и, следовательно, получить экономию меди, т. е. сделать машину дешевле. Применяемая изоляция должна выдерживать температуру развивающуюся при работе машины. Стабильность свойств изоляции при длительном воздействии высокой температуры определяет надежность и срок службы электрических машин. Большое значение имеет правильный выбор изоляции. Классификация изолирующих материалов на электрические машины, данная в ГОСТ 183–41, значительно устарела и не охватывает ряда материалов, применяемых в трансформаторах и аппаратах.

В настоящее время в области электроизоляционной техники появились новые виды изоляции, которые уже освоены и широко применяются в последние 10 лет. В ГОСТ 183–66 (взамен ГОСТ 183–55) классификация изоляции не указывается. Вследствие этого выявилась необходимость создания специального ГОСТ 8865–58 на современную классификацию основных материалов, применяемых для изоляции электрических машин, трансформаторов и аппаратов. По ГОСТ 8865–58 все изоляционные материалы, применяемые в электрических машинах, трансформаторах и аппаратах по нагревостойкости разделяются на семь классов:
Класс Y – не пропитанные и не погруженные в жидкий электроизоляционный материал, волокнистые материалы из целлюлозы и шелка, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов. Предельно допустимая температура 90°С.
Класс А – пропитанные или погруженные в жидкий электроизоляционный материал волокнистые материалы из целлюлозы или шелка, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов. Предельно допустимая температура 105°С.
Класс Е – некоторые синтетические органические пленки, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов. Предельно допустимая температура 120°С.
Класс В – материалы на основе слюды (в том числе на органических подложках), асбеста и стекловолокна, применяемые с органическими связующими и пропитывающими составами, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов. Предельно допустимая температура 130°С.
Класс F – материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с синтетическими связующими и пропитывающими составами, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов. Предельно допустимая температура 155°С.

Новое	Старое
Y	O
A	A
E	AB
B	B
F	BC
H	CB
C	C

Класс Н – материалы на основе слюды, асбеста и стекловолокна, применяемые в сочетании с кремнийорганическими связующими и пропитывающими составами, кремнийорганические эластомеры, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов. Предельно допустимая температура 180°С.
Класс С – слюда, керамические материалы, стекло, кварц, применяемые без связующих составов или с неорганическими или кремнийорганическими связующими составами, а также соответствующие данному классу другие материалы и другие сочетания материалов. Предельно допустимая температура более 180°С. Ниже наряду с новым обозначением классов электроизоляционных материалов по нагревостойкости приводятся соответствующие им старые обозначения. В ГОСТ 8865–58 отмечается, что указанная классификация не является обязательной, так как предельно допустимые температуры могут быть окончательно установлены лишь на основании опыта эксплуатации или соответствующих испытаний. Рассмотрим вкратце некоторые изоляционные материалы, применяемые в современном электромашиностроении по классам.

а. Материалы класса Y и А.

Хлопчатобумажные ленты. Благодаря относительно высокой механической прочности, эластичности, гибкости хлопчатобумажные ленты (батистовая, тафтяная, миткалевая и киперная) применяются в качестве защитных лент поверх основной изоляции обмоток электрических машин, деталей соединений, всевозможных креплений и соединений проводов, шин. Толщина этих лент от 0,16 мм. до 0,45 мм.

В тех случаях, где требуется большая теплостойкость, используется стеклянная лента толщиной 0,08–0,2 мм. Наиболее механически прочная киперная лента имеет саржевое переплетение, применяется в большом количестве как временный защитный материал в непропитанном виде при прессовке обмоток, компаундировке, пропитке.

Электротехнический картон вырабатывается из сульфатной целлюлозы или из хлопкового волокна с добавлением хлопчатобумажных отходов. Различают следующие марки картонов: ЭВ – электрокартон целлюлозный для работы на воздухе; ЭВТ – то же, но тряпичный. ЭМ – электрокартон целлюлозный для работы в масле; ЭМТ – то же, но тряпичный. Толщина электротехнических картонов от 0,1 мм. до 3 мм. В готовом виде бывает в рулонах или листах шириной около 1000 мм. Электрокартон преимущественно применяется для пазовой изоляции и различного рода прокладок и шайб. В ответственных изделиях применяется электрокартон, пропитанный жидкими составами (маслами, лаками) как более влагостойкий и электрически прочный.

Фибра – волокнистый органический материал. Изготовляется из сильно пористой бумаги, обработанной раствором хлористого цинка. Фибра имеет высокую механическую прочность и легко подвергается механической обработке. После размачивания горячей водой из нее можно прессовать различные фасонные изделия. К недостаткам фибры относится высокая гигроскопичность. Применяется для разного рода распорок, прокладок, стяжек, где требуется жесткость и прочность при невысоких изоляционных свойствах.

Лакоткани представляют собой различного вида ткани, многократно (3–4 раза) пропитанные лаками, образующими эластичную пленку с высокими электроизоляционными свойствами. По роду пропитывающего лака лакоткани разделяются на светлые (желтые) с применением масляных лаков и черные, на масляно–битумных лаках. Светлые лакоткани обладают эластичностью, достаточной влагостойкостью, стойкостью по отношению к действию бензина и минеральных масел. Черные лакоткани отличаются повышенными электрическими характеристиками, стареют медленнее, чем светлые. Толщина лакотканей от 0,04 до 0,3 мм. Лакоткани применяются для изоляции низковольтных обмоток электрических машин, а также для изоляции различных деталей крепления и мест соединений.

Лакобумаги представляют собой бумаги, пропитанные светлыми или черными лаками, смолами, образующими эластичную пленку, обладающую высокими электроизоляционными свойствами. Лакированная или пропитанная бумага преимущественно применяется для намотанных изделий в виде трубок, цилиндров и для слоистых пластиков. В некоторых случаях в качестве изоляции класса А для электрических машин мощностью до 500 кВт и напряжением до 3000В используется новый вид материала – стеклоэскапоновая лакоткань, разработанная канд. техн. наук П. Т. Пономаревым.

Эскапоновая стеклоткань марки ЛСЭ представляет собой стеклолакоткань, пропитанную специальным составом из синтетического каучука СКВ. Лаковая пленка обладает большой эластичностью, высокими диэлектрическими показателями после растяжения по диагонали и перегиба. Превосходит хлопчатобумажную лакоткань по влаго– и водостойкости. Липкая стеклоэскапоновая лакоткань марки ЛСЭ получается нанесением на лакоткань ЛСЭ слоя поликасинового компаунда (растворитель – керосин) и применяется взамен микаленты. Она также подвергается компаундированию и при этом под действием высокой температуры 155–165°С и давления 7–8 атм. не изменяет своих электроизоляционных качеств. Поликасиновый компаунд придает слоям монолитность. При нанесении липкой стеклоэскапоновой лакоткани требуется весьма тщательная затяжка слоев, в противном случае после компаундировки получаются складки, что приводит к местным утолщениям изоляции.

б. Материалы класса Е.

Триацетатная пленка – органический материал является продуктом сложной обработки целлюлозы химическим путем. Это рулонный материал, однородный по толщине, мало гигроскопичный, эластичный, механически достаточно прочный. Имеет высокую электрическую прочность, но не озоностоек, разлагается под действием короны. Для целей изоляции обмоток электрических машин и других деталей синтетическая пленка применяется не в чистом виде, а в сочетании с бумажными стеклянными подложками и синтетическими связующими, что обеспечивает большую механическую прочность и лучшее проникание пропиточного вещества под пленку. Различают следующие основные виды материалов на основе пленки: синтолента, синтофолий и синтокартон. Толщина синтетической пленки для указанных материалов берется от 0,04 до 0,1 мм. Синтолента представляет собой гибкий в холодном состоянии электроизоляционный материал, состоящий из одного слоя синтетической пленки, склеенной битумно–масляным лаком с микалентной бумагой, покрывающей пленку с обеих сторон. Синтолента обладает высокой электрической прочностью и достаточной механической. Изготовляется толщиной 0,11 мм. Применяется в виде лент шириной 15–25 мм. для витковой изоляции статорных обмоток до напряжения 6300 *в*, корпусной изоляции статорных обмоток до напряжения 3000 *в*, для изоляции лобовых частей роторных обмоток асинхронных двигателей, для изоляции бандажных колец, деталей, крепления сердечников полюсов. Синтофолий представляет собой гибкий в нагретом состоянии рулонный электроизоляционный материал, состоящий из одного слоя синтетической пленки, наклеенной при помощи глифтале–бакелитового лака на телефонную бумагу и промазанной сверху лаком. Толщина синтофолия 0,15 мм. Он обладает высокой электрической прочностью. Применяется для корпусной изоляции роторных стержней асинхронных двигателей, статорных обмоток и некоторых типов якорных обмоток и полюсных сердечников.
Пленкоэлектрокартон представляет собой рольный или листовой картон, склеенный с одной или двух сторон синтетической пленкой толщиной от 0,04–0,1 мм. Толщина зависит от толщины применяемых материалов и колеблется в пределах от 0,16 до 0,4 мм. Пленкоэлектрокартон применяется для пазовой изоляции обмоток с напряжением до 500В, а также в виде прокладок и шайб взамен электротехнического картона в том случае, когда требуется повышенная электрическая прочность.
Провод с пленочной изоляцией марки состоит из двух слоев пленки, одного слоя телефонной бумаги и слоя хлопчатобумажной пряжи. Размеры проволоки соответствуют ГОСТ 434–53. Максимальная толщина изоляции 0,45–0,50 мм. Провод марки ППТБО применяется для изготовления высоковольтных статорных обмоток, без дополнительной витковой изоляции. Он не может быть рекомендован к широкому применению, так как пленочная изоляция повреждается при горячей опрессовке катушек, что приводит к витковым замыканиям. Технология производства изоляции такого провода на сегодняшний день еще недостаточно освоена.

в. Материалы класса В.

Микалента марок ЛФЧББ и ЛМЧББ представляет собой гибкий в холодном состоянии электроизоляционный материал, состоящий из щипаной слюды (мусковит или флогопит), склеенной битумно–масляным лаком с микалентой бумагой, покрывающей слюду с обеих сторон. Широкое применение имеет микалента толщиной 0,13, 0,17 мм. при ширине роликов 15, 20, 24, 30 и 45 мм. в качестве витковой и корпусной изоляции всех видов обмоток электрических машин. Микалента на мусковите более электрически прочная, чем микалента на флогопите. Для корпусной изоляции высоковольтных обмоток электрических машин рекомендуется применять только микаленту на мусковите.

Слюдопластолента марки СЛФЧ представляет собой гибкий в холодном состоянии электроизоляционный материал, состоящий из слюдопласта, склеенного при помощи битумно–масляного лака с бумагой, покрывающей слюдопласт с обеих сторон. Толщина слюдопластоленты 0,13 мм. Среднее значение электропрочности не менее 20 *кв*/мм. Используется взамен микаленты для витковой изоляции обмоток статоров любых напряжений и головок.

Микафолий представляет собой гибкий в нагретом состоянии материал, состоящий из одного или нескольких слоев щипаной слюды (мусковит или флогопит), наклеенных при помощи смоляно–масляного лака на телефонную бумагу, верхний слой слюды также промазан лаком. Микафолий применяется в качестве корпусной изоляции обмоток электрических машин с гильзовой изоляцией, полюсных сердечников и других деталей машин и аппаратов. В настоящее время микафолий для высоковольтных обмоток электрических машин в виде гильзовой изоляции почти не применяется.

Миканиты – в основном листовые электроизоляционные материалы, склеенные из щипаной слюды (мусковит или флогопит) при помощи клеящего лака или сухой смолы. В зависимости от применяемого лака и режима прессования различают следующие виды миканитов:

Твердо–прокладочный миканит применяется для разного рода электроизоляционных прокладок и шайб. Выпускается прессованным и калиброванным, а также прессованным, но не калиброванным.

Коллекторный миканит применяется в качестве изоляции между медными пластинами коллекторов электрических машин (межламельная изоляция). Коллекторный миканит по сравнению с другими видами миканитов имеет малое содержание связующего, не более 4%, очень плотный, толщина его от 0,6 до 1,2 мм. Для получения равномерной толщины подвергается фрезерованию на специальном станке. Благодаря малому содержанию смолы и высокому давлению во время прессования этот миканит имеет повышенные механические свойства, дает малую усадку при работе под большим давлением и повышенной температуре.

Формовочный миканит при нормальной температуре является твердым материалом, но при нагреве приобретает способность формоваться и может принимать любую форму, которую сохраняет и после охлаждения. Такой миканит используют для изготовления коллекторных манжет, коробок роторного паза, сегментов и других фасонных изделий, применяемых в аппаратах и машинах.

Гибкий миканит предназначается для междувитковой изоляции обмоток электрических машин, выкладки паза, подбандажной изоляции обмоток якорей. Этот миканит обладает гибкостью при нормальной температуре. Наибольшее применение имеет гибкий миканит толщиной от 0,5 до 1 мм.

г. Материалы класса F.

Материалы этого класса, изготовленные на основе слюды или стеклянной ткани в сочетании с глифталевыми лаками, являются более теплостойкими, чем материалы класса В. В настоящее время из ленточных слюдяных материалов широко внедряется в качестве витковой и корпусной изоляции для обмоток якорей светлая микалента марок ЛФСББ и ЛМСББ.

д. Материалы класса Н.

Микалента нагревостойкая марок ЛФКТТ, ЛМКТТ, ЛФКТС, ЛМКТС состоит из одного слоя щипаной слюды флогопит или мусковит, оклеенной с двух сторон бесщелочной стеклотканью или стеклосеткой при помощи кремнийорганического связующего вещества. Толщина микаленты зависит от размера слюды и толщины стеклоткани, обычно это 0,13 и 0,15 мм.

Применяется она в тех случаях, когда требуется повышенная теплостойкость, влагостойкость или большая надежность в условиях эксплуатации. В виде лент шириной 15 и 25 мм. употребляется для витковой или корпусной изоляции обмоток электрических машин.

Микафолий нагревостойкий состоит из одного или двух слоев слюды (флогопит), наклеенных на бесщелочную стеклотканевую подложку при помощи кремнийорганического лака. Толщина стекломикафолия 0,2–0,3 мм. Применяется для корпусной изоляции обмоток и сердечников полюсов в тех случаях, когда требуется повышенная надежность, теплостойкость и влагостойкость.

Миканит нагревостойкий изготовляется на слюде (флогопит) и кремнийорганическом лаке. Виды миканита (прокладочный, гибкий, формовочный) определяются связующим составом и режимом изготовления. Применяются они в тех случаях, когда требуется повышенная надежность, теплостойкость и влагостойкость. В отдельных случаях гибкий миканит изготовляется в сочетании с бесщелочной стеклотканью (стекломиканит гибкий).

Липкая стеклолента изготовляется из бесщелочной стеклянной ткани, пропитанной кремнийорганическим лаком ЭФ–5, обладает липкой поверхностью, позволяющей получить при намотке монолитность. Применяется в виде лент толщиной 0,12 мм. в качестве защитной покровной ленты в тех случаях, когда требуется повышенная теплостойкость, влагостойкость. Иногда взамен липкой стеклоленты применяется стеклолента толщиной 0,1 до 0,2 мм. пропитанная кремнийорганическим лаком.

Стеклоткань ЛСК–7 представляет собой электроизоляционный материал, изготовленный из бесщелочной стеклоткани марки ЭСТБ, пропитанной теплостойким кремнийорганическим лаком марки К–44 (толщина 0,11 и 0,15 мм). Применяется в качестве нагревостойкого и влагостойкого материала.

е. Материалы класса С.

Слюда – минерал, обладающий способностью легко расщепляться на очень тонкие, гибкие и упругие пластинки. Из большого числа минералов группы слюд важное промышленное значение имеют мусковит и флогопит. Эти слюды обладают весьма ценными качествами – высокой электрической прочностью, нагревостойкостью, влагостойкостью, механической прочностью и гибкостью. Благодаря такому сочетанию важных свойств, эти виды слюд являются одними из важнейших изоляционных материалов. Слюда применяется в виде тонких пластин толщиной 0,01 – 0,03 мм. размером от 4 до 50 см^2. Крупная слюда используется для более ответственных материалов. В сочетании со связующими составами и подложками слюда составляет композиционные слюдяные материалы, применяемые в качестве изоляции обмоток электрических машин.

Связующие пропиточные и покровные составы, применяемые при производстве изоляционных материалов.

Битумно–масляные лаки представляют собой растворы сплавов черных смол (лаковых битумов, асфальтитов) и растительных масел в органических растворителях: толуол, ксилол, сольвент, бензин, уайт–спирит и др. с добавлением сиккатива или без него. Пленки этих лаков гибки, мало гигроскопичны, обладают высокими электроизоляционными свойствами, но не маслостойки. Лаки с большим содержанием масла (жирные) являются лаками горячей сушки и обладают большей эластичностью, чем лаки тощие с малым содержанием масла. Последние являются лаками холодной сушки.

Лаки предназначаются для пропитки обмоток электрических машин и катушек аппаратов.

Лак БТ–95 – масляно–битумный клеящий лак, не содержащий в своем составе сиккатива, поэтому длительно сохраняющий клейкость и эластичность. Применяется для клейки микаленты. Растворителем и разбавителем служит смесь уайт–спирита с толуолом или бензином.

Лак № 46 – масляно–битумный медленной горячей сушки, пропиточный. Применяется для изготовления черной лакоткани.

Компаунды применяются как пропиточный состав в производстве обмоток электрических машин. В качестве компаундов используют специальные битумы, например, Ухтинский битум и битум марки БН–V. В исходном состоянии битум – твердое вещество. Применяется в жидком состоянии после нагрева при достаточно высокой температуре (155–165°С). Отличается от лаков отсутствием летучего растворителя. Компаунд – термопластическое вещество, температура размягчения близка к рабочей температуре неподвижных частей электрических машин, поэтому он используется для пропитки высоковольтных статорных обмоток и катушек магнитной системы машин постоянного тока. Для того чтобы было обеспечено проникновение состава и получалась монолитная изоляция, процесс компаундировки ведется при температуре порядка 155–165°С и давлении 7–8 атм. В настоящее время разработаны составы термореактивных компаундов – эпоксиднополиэфирные. Они имеют малую усадку при отвердевании, обладают большой текучестью, хорошими пропиточными свойствами. Пропитку ими ведут в холодном состоянии с последующей запечкой при температуре 150–160°С. Имеются также компаунды холодного отвердевания. Многие предприятия ведут работы по практическому использованию термореактивных компаундов. На заводе "Электросила" изготовлен опытный турбогенератор мощностью 4 МВт с применением стеклослюдяной изоляции для статорной обмотки на эпоксиднополиэфирном компаунде. В последние годы успешно применяют для изоляции различных видов обмоток низкого напряжения: статорных, якорных, компенсационных и др., односторонние стеклослюдинитовые и стеклослюдопластовые материалы, состоящие из одного слоя слюдинитовой или слюдопластовой бумаги, пропитанной и склеенной с одним слоем стеклоткани эпоксидным лаком. Толщина материала 0,17 мм. достаточно гибок, среднее пробивное напряжение 3,5–4,0 *кв*/мм. Материал под названием слюдопластофолий и стекло – слюдинитофолий используется как рулонный в виде гильз и наносится методом обкатки с последующей запрессовкой, а также в виде лент. Стеклослюдинитовые ленты в зависимости от отвердителя в связующем веществе применяются для машинной изолировки с предварительным разогревом ее в процессе наложения и также вручную без разогрева. Толщина ленты 0,17 ± 0,02 мм.

Глифталевые лаки – коллоидные растворы глифталевой смолы в спиртобензольной или спиртотолуольной смеси. Обладают хорошей клейкостью. Для повышения влагостойкости вводят растительные масла. Глифталевые смолы отличаются способностью изменять свой цвет при обработке различными продуктами (жирными кислотами льняного тунгового, касторового масла, стеариновой кислотой и др.). Лаки на модифицированных смолах обладают повышенной эластичностью и нагревостойкостью, термореактивны. Глифталевые лаки применяются для изготовления миканитов, для различной подклейки, а также для маслостойкой пропитки и покрытий при изготовлении покровно–защитных эмалей.

Бакелитовые лаки представляют собой раствор бакелитовой смолы в спирте или в спиртобензольной, спиртотолуольной смеси. Обладают высокой цементирующей и клеящей способностью, несколько хрупки. Являются влагостойким материалом после запечки, термореактивны. Бакелитовый лак применяется в производстве гетинакса, текстолита и других слоистых пластиков, для покрытия и пропитки бумаги, тканей.

Глифталево–касторово–бакелитовые №88 – клеящий и цементирующий лак, применяется для клейки и цементации полюсных катушек с изоляцией из асбестовой бумаги, для изготовления стекломикафолия и для различных подмазочных работ.

Кремнийорганические лаки – в основе кремнийорганические смолы, которые растворяются в ароматических растворителях (бензоле, ксилоле, толуоле) и в смеси бензина со скипидаром. Кремнийорганические лаки обладают высокой нагревостойкостью, хорошей водостойкостью и хорошими электрическими характеристиками, которые мало снижаются с повышением температуры до 200°С. В настоящее время имеется ряд клеящих, пропиточных и покровных кремнийорганических лаков, освоенных в производстве и широко используемых для целей создания изоляционной конструкции повышенной нагревостойкости и надежности. Ниже приводятся различные лаки и компаунды, применяемые для изоляции обмоток электрических машин.

Лак ЭФ–5 – клеящий, представляет собой раствор кремнийорганической смолы в толуоле или бензине. Изготовляется трех марок, которые отличаются концентрацией и вязкостью: лак ЭФ–5Т – 40% смолы на толуоле; лак ЭФ–5Г – 60% смолы на толуоле;
лак ЭФ–5Б – 40% смолы на бензине.

Лак ЭФ–5 применяется для изготовления стекломикаленты, гибкого миканита, липкой стекло ленты и для различных подмазок как цементирующий лак. Перед употреблением в лак вводят сиккатив № 263 (ГОСТ 1003–41) из расчета 6% основы сиккатива к основе лака.

Лак ЭФ–3 – пропиточный, изготовляется двух марок: ЭФ–ЗБСУ и ЭФ–ЗТ.

Лак ЭФ–ЗБСУ представляет собой 40–процентный раствор кремнийорганической смолы в смеси бензина со скипидаром в отношении 1:1. Предназначается для пропитки обмоток электрических машин, готовых электрических машин и аппаратов.

Лак ЭФ–ЗТ – представляет собой 60–процентный раствор кремнийорганической смолы в толуоле. По свойствам не отличается от лака ЭФ–ЗБСУ, применяется для изготовления нагревостойких замазок и для других целей. Перед употреблением в лаки ЭФ–3 вводят сиккатив из расчета 6% основы сиккатива к основе лака.

Лак К–40 – клеящий, представляет собой раствор кремнийорганической смолы в толуоле. Применяется в производстве формовочного и прокладочного миканитов и стекломикафолия.

Лак К–47 представляет собой 65–процентный раствор кремнийорганической смолы в смеси целлозольва и хлорбензола и предназначается для лакировки стали статора, якоря и других целей. К–43 – пропиточный компаунд, представляет собой кремнийорганический продукт с добавлением катализатора и предназначается для пропитки обмоток электрических машин. Компаунд К–43 используется так же, как промазочное вещество при намотке витков шунтовых катушек электрических машин постоянного тока. Для этого составляется пастообразная масса состоящая из смеси талька и теплостойкого компаунда К–43 с добавлением линолеата свинца в следующем составе: компаунд К–43…60 весовых частей, тальк…40 весовых частей, линолеат свинца…0,6–0,9 весовых частей, толуол … 3–4 весовых частей. Такая масса в результате термической обработки полностью обеспечивает цементацию и механическую прочность всех элементарных проводников катушек возбуждения. Эмали ПКЭ–14, ПКЭ–19 и ПКЭ–22 – покровные эмали горячей сушки, содержащие пигменты в количестве от 15 до 30 процентов от веса смолы. Пигменты представляют собой высокодисперсные неорганические вещества (соли или окислы металлов), назначение которых состоит в том, чтобы придать лаковой пленке механическую прочность, плотность, твердость, повысить ее атмосферостойкость, устойчивость против коррозии. Пигменты дают сплошной слой покрытия. Наиболее распространенными белыми пигментами являются: литопон, окись сурьмы с добавкой двуокиси титана и цветные пигменты (красная окись железа, красный кадмий, хромовая зелень, желтый хром и др.). Эмали применяются для покрытия (лакировки) деталей электрических машин, аппаратов и готовых конструкций. Эмаль ПКЭ–19 требует более длительной сушки при повышенной температуре (180–200° С). Изделия, покрытые эмалью ПКЭ–19 и ПКЭ–22, сушат при температуре 120–140°С.

Глава четвертая
Конструкции обмоток машин постоянного тока.

4–1. Конструкция обмотки якоря.

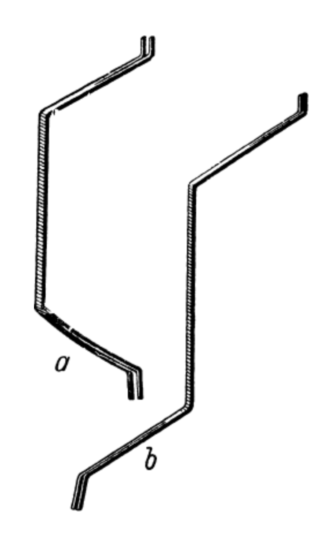


Рис. 4–1. Полукатушка стержневой обмотки.

Секции обмотки якоря выполняются из медных проводников прямоугольного сечения. Для изготовления их применяются либо голые проводники, либо проводники, изолированные хлопчатобумажной пряжей, эмалью, шелком, асбестом и т. п. При использовании голых проводников их изолируют микалентой или стекломикалентой. Вся секция или несколько секций покрываются общей изоляцией: микафолием, микалентой или синтофолием. Изолированные секции укладываются в пазы якорной стали и соединяются между собой. Соединение отдельных секций, а также присоединение их к коллектору, производится по соответствующей схеме. Как было указано в гл. 1, применяемые в современных машинах постоянного тока якорные обмотки изготовляются двух основных типов: стержневые и катушечные. На рис. 4–1 и 4–2 показаны полукатушки стержневой обмотки и катушка катушечной обмотки. И тот и другой тип обмоток изготовляют в специальных приспособлениях, так называемых шаблонах, отсюда и их название шаблонных обмоток.

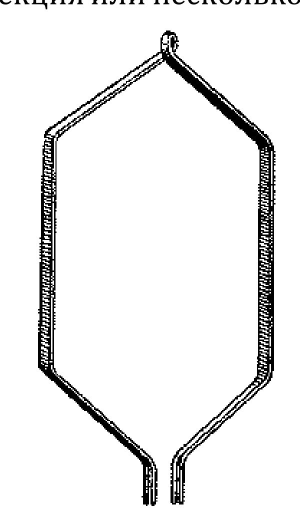


Рис. 4–2. Катушка катушечной обмотки.

4–2. Катушечная обмотка.

Секция катушечной обмотки изготовляется намоткой проводника на шаблоне. Катушка может состоять как из одной, так и из нескольких секций. В последнем случае намотку катушки производят из проводников, сматываемых одновременно с нескольких барабанов. При больших сечениях проводники имеют большую жесткость, что затрудняет изготовление катушек. В таких случаях для облегчения намотки катушки секции изготовляются из нескольких параллельных проводников.

а. Катушки волновой обмотки с одновитковыми секциями.

На рис. 4–3 показана катушка волновой обмотки, состоящая из трех секций. В каждой секции один виток. Буквами $Н_1$, $Н_2$ и $Н_3$ обозначены начала секций, буквами $К_1$, $К_2$ и $К_3$ – концы тех же секций. Стороны катушки *аб* и *ег* лежат в пазах якоря и носят название пазовой, части катушки. Части *адв*, *бе* и *гж* называются лобовыми частями. Часть *адв* расположена со стороны, противоположной коллектору, части *бе* и *гж* – со стороны коллектора. Пазовые части *аб* и *вг* лежат в разных плоскостях. При укладке катушки в пазы якоря часть *аб* занимает верхнюю половину паза, а часть *вг* – нижнюю. Переход со стороны *аб*, лежащей в одной плоскости, к стороне *вг*, расположенной в другой плоскости, осуществляется перегибом в лобовой части. Этот перегиб, выполняемый по определенному радиусу, образует так называемую головку катушки. Выводные концы катушки Н и К присоединяются к пластинам коллектора.

б. Катушки волновой обмотки с многовитковыми секциями.

На рис. 4–4 представлена катушка волновой обмотки, состоящая из двух секций, каждая из них имеет два витка. Схематическое изображение этой катушки представлено на рис 4–5. Из рис. 4–4 и 4–5 видно, что головка катушки с многовитковыми секциями отличается от головки катушки с одновитковыми секциями. Для того чтобы катушки со стороны коллектора получились сверху и снизу, необходимо головку раздвоить, т. е. произвести перекрещивание витков. При этом верхний проводник верхнего слоя одной стороны катушки переходит в верхний проводник нижнего слоя другой стороны. Если у головки не производить перекрещивания витков, то один из выводов получится выходящим из середины катушки, что затруднит присоединение выводов к коллектору.

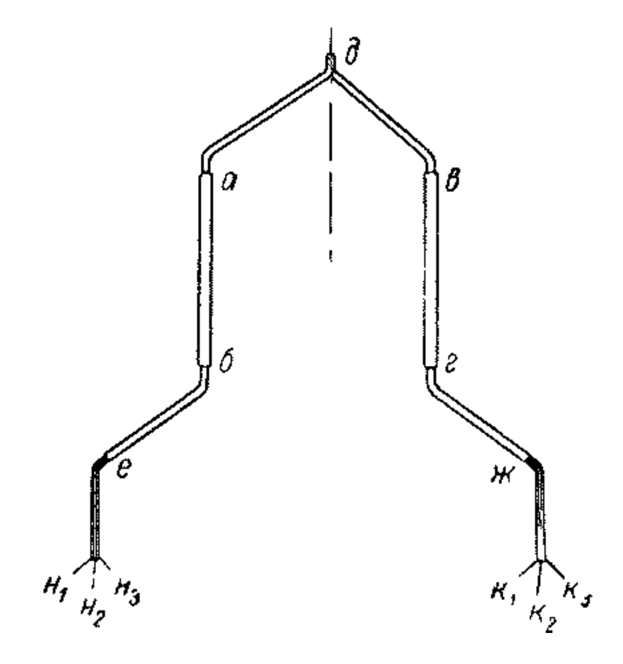
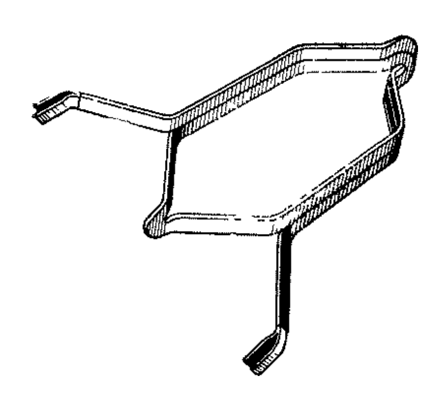
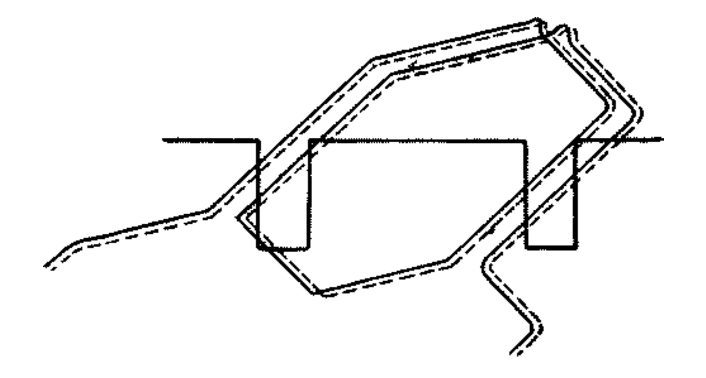
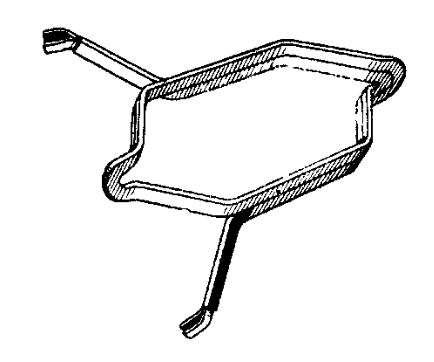


Рис. 4–3. Катушка волновой обмотки.


Рис. 4–4. Катушка волновой обмотки с двойной головкой.


Рис. 4–5. Схематическое изображение катушки рис. 4–4.

На рис. 4–4 и 4–6 показано расположение концов при перекрещенной и неперекрещенной головках. Перекрещенная головка получила в практике наименование двойной головки. Благодаря большей простоте в присоединении выводов, катушки с такими головками применяются чаще, хотя и требуют больше места.


Рис. 4–6. Катушка волновой обмотки с одной головкой, состоящая из двух секций с двумя витками в секции.

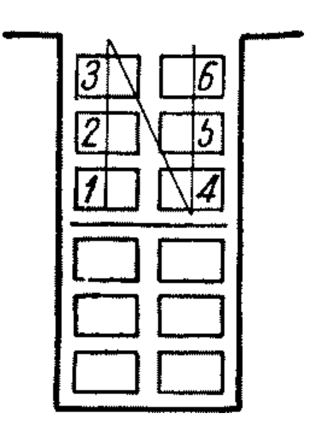


Рис. 4–7. Расположение витков в поперечном сечении катушки.

Рассмотренные нами катушки состоят из секций, имеющих два витка. Выполнение катушек из секций с числом витков более двух ничем не отличается от вышеописанного. Расположение проводников в поперечном сечении катушек с двойными головками показано на рис. 4–7. Витки каждой секции катушки лежат один над другим, а витки разных секций лежат рядом в одной горизонтальной плоскости.

в. Катушка петлевой обмотки с одновитковыми секциями.

На рис. 4–2 изображена катушка петлевой обмотки, состоящая из двух секций. В каждой секции один виток. Из сравнения рис. 4–2 и 4–3 видно, что катушка петлевой обмотки отличается от катушки волновой обмотки только направлением выгиба лобовых частей со стороны коллектора.

г. Катушка петлевой обмотки с многовитковыми секциями.

Так же как в катушках волновой обмотки, в катушках петлевой обмотки желательно, чтобы концы катушки выходили сверху и снизу ее. Поэтому в таких катушках обычно тоже применяют двойную головку с перекрещиванием витков на стороне, противоположной коллектору (см. рис. 4–8 и 4–9).

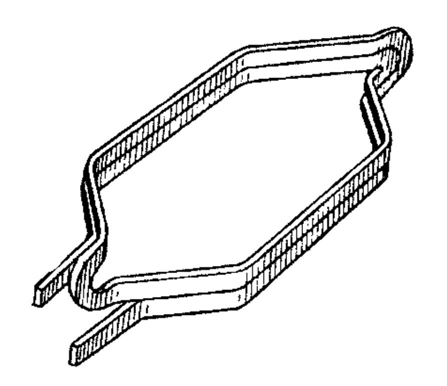


Рис. 4–8. Многовитковая секция петлевой обмотки с одной головкой.

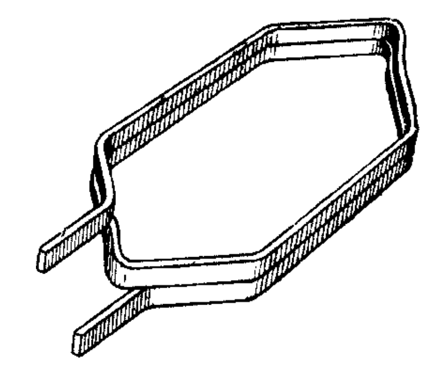


Рис. 4–9. Многовитковая секция петлевой обмотки с двойной головкой.

4–3. Стержневая обмотка.

При больших токах сечения проводников секций получаются настолько большими, что выполнение катушек путем намотки на шаблоне и в особенности выгиб головки представляют большие затруднения. В этих случаях секции обмотки изготавливаются из отдельных стержней, называемых полусекциями. Полусекции соединяются между собой хомутиками и пропаиваются. Это соединение соответствует головке в катушечной обмотке. Обмотки, выполняемые таким образом, называются стержневыми.

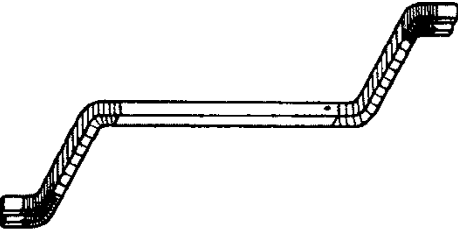


Рис. 4–10. Стержень полусекции волновой обмотки.

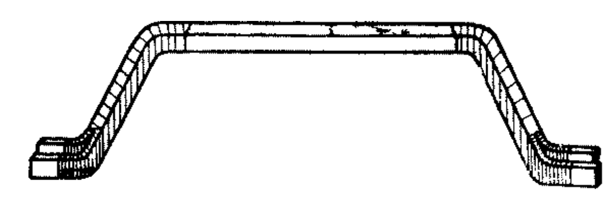


Рис. 4–11. Стержень полусекции петлевой обмотки.

Иногда обмотки, состоящие из проводников большого сечения прямоугольной формы, называют стержневыми и в тех случаях, когда они изготовляются целой секцией и имеют головку такую же, как в катушечной обмотке. Стержни полусекций волновой и петлевой обмоток показаны на рис. 4–10 и 4–11. Они изготовляются путем выгиба на специальном шаблоне. Соединение полусекций хомутиками и запайка производятся после укладки в пазы якоря. Ступенчатые обмотки выполняются в виде стержневых из отдельных полусекций.

4–4. Изоляция обмоток якоря.

Изоляция обмоток якорей машин постоянного тока может выполняться по классу A или B (см. гл. 3). Нормальные машины изолируются по классу A. При этом, в основном, используется хлопчатобумажная пряжа или лента. В тех случаях, когда к машине предъявляются повышенные требования в отношении надежности, прибегают к более высокому классу изоляции. Так, например, для машин, работающих в сырых помещениях, в шахтах, на судах и т. п., применяют так называемую противосыростную изоляцию. Для особо ответственных крупных машин, применяют изоляцию класса B, F или H, т. е. более теплостойкую.
Изоляция обмоток якоря подразделяется следующим образом:
а) изоляция проводников;
б) изоляция между витками;
в) изоляция катушечных сторон в пазу;
г) изоляция лобовых частей.
По качеству изоляция может быть трех видов:
а) нормальная изоляция;
б) влагостойкая изоляция;
в) теплостойкая изоляция.
Изоляция креплений обмотки будет рассмотрена отдельно.

а. Изоляция проводников.

Для изготовления якорных обмоток применяют либо неизолированные (голые) проводники, либо проводники, изолированные одним или двумя слоями хлопчатобумажной пряжи или другими видами изоляции. В случае применения голой меди проводники покрываются одним слоем микаленты, шириной 12–15 мм. и толщиной 0,13 мм. Наложение ленты накладывается по всей длине витка, как в пазовых, так и в лобовых частях, причем витки ее перекрывают друг друга на половину ширины ленты, т. е. вполнахлеста, как показано на рис. 4–12. Благодаря чему получается непрерывный слой изоляции без просветов на стыках между витками ленты. При этом односторонняя толщина изоляции равна двум толщинам ленты.



Рис. 4–12. Наложение ленты вполнахлеста.

б. Изоляция между витками.

В нормальных машинах, напряжением до 500 *в*, изоляция проводников якоря является вполне достаточной для того, чтобы выдержать те небольшие напряжения, которые существуют между витками одной секции. Обычно напряжение между коллекторными пластинами не превышает 35–40 *в*. Оно является суммой напряжений между отдельными витками. Например, пусть напряжение между витками секции равно 10В, а число витков в секции равно трем. Тогда напряжение между двумя соседними коллекторными пластинами равно 3 × 10 = 30 *в*.

Как видно из приведенного примера, напряжение между витками секции равно части напряжения между коллекторными пластинами, которое и само невелико. Что касается напряжения между проводниками, лежащими в одном пазу и в одном и том же слое, но принадлежащими разным секциям, то оно равно полному напряжению между коллекторными пластинами. Однако в нормальных машинах и здесь обычно ограничиваются изоляцией самих проводников, не прибегая к добавочной изоляции между витками. На рис. 4–7 проводники 2, 2 и 3 принадлежат к одной секции. Напряжение между ними равно ⅓ напряжения между коллекторными пластинами. Проводники 4, 5 и 6 принадлежат другой секции. Напряжение между проводниками 1 и 4, 2 и 5, 3 и 6 равно полному напряжению между соседними пластинами коллектора.

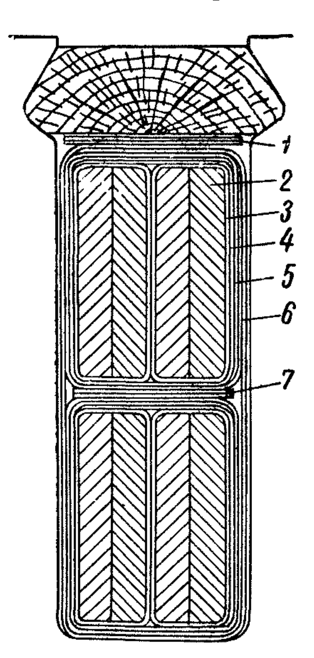


Рис. 4–13. Нормальная пазовая изоляция.
1 – электрокартон, 2 – медь
3 – микалента 0,13 мм.,
4 – микафолий 0,14 мм.,
5 – телефонная бумага,
6 – электрокартон 0,2 мм.,
7 – электрокартон.

в. Изоляция катушечных сторон в пазу.

Все секции, принадлежащие одной катушке (или полусекции при стержневой обмотке), изолируются общей изоляцией от стенок паза. Эта изоляция сообщает катушке не только электрическую прочность, но и механически связывает отдельные секции между собой. Толщина пазовой изоляции определяется напряжением машины. Обычно применяют одну и ту же толщину для всех напряжений до 500 *в*. Эта изоляция состоит из двух слоев микафолия или синтофолия толщиной 0,15–0,18 мм. Она выступает с обеих сторон стали якоря, включая нажимные пальцы, на 8–10 мм. Микафолий или синтофолий накладываются вперекрой. Для предохранения основной изоляции от механических повреждений поверх нее накладывается вперекрой один слой лакированной телефонной бумаги толщиной 0,07 мм. Как известно, сталь якоря набирается из отдельных листов с выштампованными пазами. Поэтому поверхность паза не получается абсолютно гладкой. Отдельные листы сдвинуты относительно друг друга на 0,1–0,2 мм. Для того чтобы образующиеся таким образом выступы ("гребенки") не повредили изоляции катушек, в паз закладывается гильза из электрокартона толщиной 0,15–0,2 мм. На рис. 4–13 изображен разрез паза с нормальной изоляцией. Между сторонами отдельных катушек прокладывается полоска из электрокартона толщиной около 1 мм. в зависимости от свободного пространства по высоте паза. Такая же полоска закладывается под клин, удерживающий обмотку в пазу; она предохраняет изоляцию от повреждений при забивании клина.

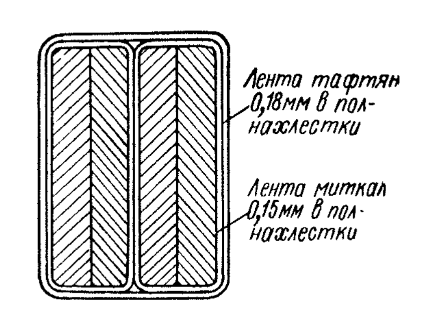


Рис 4–14. Разрез лобовой части катушки с нормальной

г. Изоляция лобовых частей катушки.

Лобовые части катушки непосредственно не соприкасаются со сталью якоря, поэтому изоляция их по сравнению с пазовыми частями делается облегченной. Благодаря этому улучшается также их охлаждение, ибо изоляционные материалы являются плохими проводниками тепла.

В нормальных машинах лобовые части катушек изолируются одним слоем тафтяной ленты толщиной 0,18 мм. вполнахлеста. Кроме того, для большей механической прочности места выхода катушки из паза и переход от пазовой изоляции к лобовой покрываются дополнительным слоем этой же ленты. Между отдельными слоями обмоток в лобовой части прокладываются полоски электрокартона толщиной от 3 до 10 мм. и более в зависимости от формы головки и расстояния между слоями обмотки. На рис. 4–14 показан разрез катушки в лобовой части, а на рис. 4–15 видна прокладка между слоями обмотки в этой же части. Изоляция обмоткодержателей, на которые опираются лобовые части, будет описана ниже. При всыпной обмотке изоляция ее производится способом, отличающимся от вышеописанного, так как секции обмотки вкладываются в паз неизолированными. В этом случае изоляция пазов якоря производится до укладки обмотки. В виду того, что при всыпной обмотке лобовые части ее соприкасаются с торцовыми частями тела якоря, последние изолируют посредством дисков электротехнического картона. Диски эти обычно вырубаются тем же штампом, что и сталь якоря. Крепление дисков вместе со сталью якоря на валу осуществляется с помощью упорных стальных шайб. Якорь с установленными изолирующими дисками показан на рис. 4–16. Изоляция паза для машин небольшого напряжения (13–24 *в*) обычно состоит из одного слоя электрокартона толщиной 0,1 – 0,2 мм. При напряжении 110–220 *в*, кроме электрокартона, кладется один слой лакоткани. Для повышения стойкости изоляции обмоток и защиты ее от проникновения влаги при применении бумажных изоляционных материалов, а также при всыпных обмотках необходимо производить их пропитку лаками.



Рис. 4–15. Обмотка якоря.

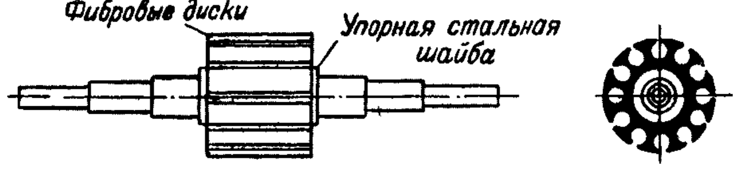


Рис. 4–16. Якорь с изолирующими дисками.

д. Влагостойкая изоляция.

Для машин, предназначенных работать в сырых помещениях, применяется специальная, так называемая влагостойкая изоляция, т. е. входящие в ее состав материалы должны быть мало гигроскопичными. С этой же целью изолированные катушки покрываются специальными лаками. Хотя лаков, не пропускающих влагу, нет, но все же они замедляют проникновение ее в изоляцию. В разобранной выше нормальной изоляции наиболее гигроскопичным является электрокартон. Поэтому при влагостойкой изоляции электрокартон должен быть заменен другими материалами. Лучшие результаты достигаются при применении миканита, микафолия и тому подобных материалов, изготовленных из слюды. Полученная таким образом изоляция, хотя и является усиленной по сравнению с нормальной, все же не может быть названа влагостойкой, если ее не покрыть водонепроницаемыми лаками, так как влага может проникнуть в зазоры между слоями изоляции. Влагостойкость хорошо достигается при многократной пропитке катушек с применением вакуумного процесса. В результате пропитки воздушные прослойки между слоями изоляции заполняются лаками, и тем самым катушка предохраняется от проникновения влаги.

е. Изоляция класса В.

К изоляции ответственных машин, работающих в тяжелых условиях (например, прокатные и судовые электродвигатели и т. п.), предъявляются требования повышенной надежности. Им отвечает изоляция класса В, допускающая температуру нагрева 120°С. Как известно, к изоляции класса В относятся материалы, в основном состоящие из неорганических веществ и содержащие вещества органического происхождения в небольших количествах, причем они служат либо защитным покровом для основной изоляции (например, батист), либо связующим материалом (например, лак, входящий в состав миканита, микаленты и т. п.). На рис. 4–17 в качестве примера показаны сечения катушки, в пазовой и лобовой частях имеющие теплостойкую изоляцию. Как видно из рисунка, проводники секций (стержни) изолированы по всей длине микалентой, покрытой слоем батистовой ленты, наложенной впритык.

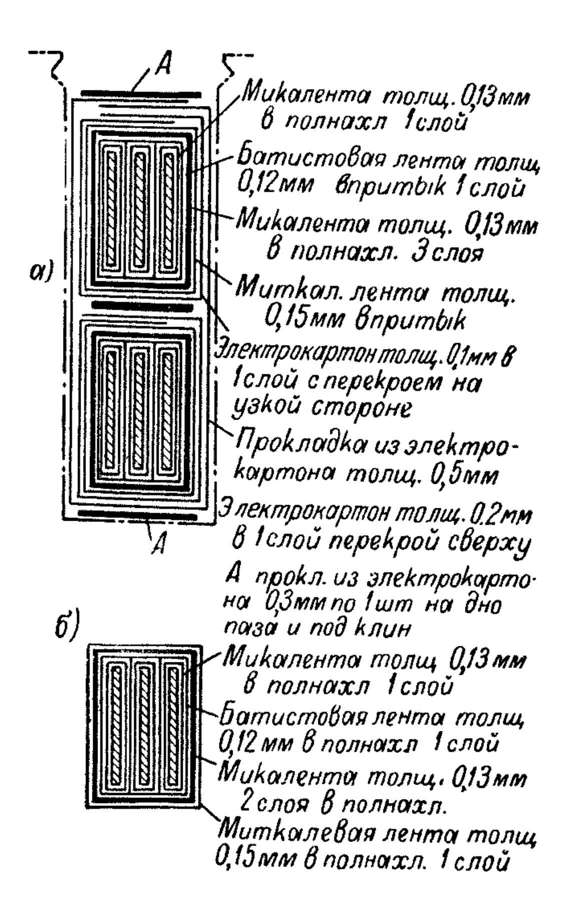


Рис. 4–17. Изоляция класса В:
а – в пазу; *б* – в лобовой части.

Батистовая лента предохраняет микаленту от повреждений, а также скрепляет ее витки между собой. Все секции одной катушки покрыты общей изоляцией также из микаленты, которая сверху предохранена слоем миткалевой ленты. Поверх последней накладывается один слой электрокартона (только в пазовой части). Описанная изоляция одинакова по всей длине катушки, как в лобовой, так и в пазовой части и носит название непрерывной. Она обладает большой надежностью, так как в ней отсутствует наиболее легко уязвимый стык между изоляцией пазовой и лобовой частей. При напряжениях до 250 *в* в лобовой части общую изоляцию катушки можно делать из лакированной ткани вместо микаленты.

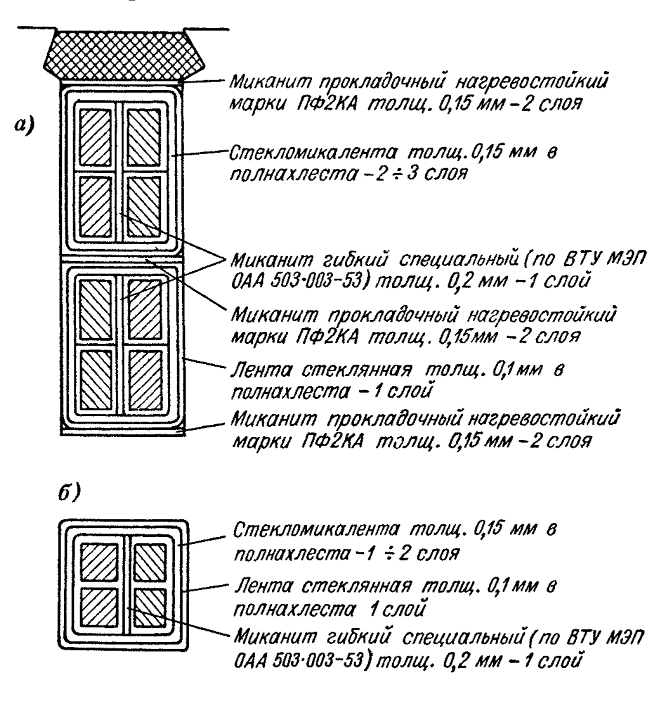


Рис. 4–18. Изоляция обмоток на кремнийорганических лаках из провода ПСДК: *а* – в пазу, *б* – в лобовой части.

ж. Теплостойкая изоляция класса Н на кремнийорганических лаках.

Когда машины проектируются с высоким использованием материалов, максимально уменьшаются их габариты и вес, температура перегрева обмоток не сохраняется на уровне, допустимом для изоляции класса В.

В этих случаях находит применение изоляция из препаратов слюды и стекла на кремнийорганических лаках, допускающая температуру нагрева в наиболее нагретой точке 180°С. К таким материалам относятся стекломикалента марки С2ЛФК на кремнийорганическом лаке, применяемая в качестве основной изоляции, и миканит прокладочный нагревостойкий марки ПФ2КА. Промазка слоев изоляции производится лаком ЭФ5, пропитка изоляции производится лаком ЭФ–3. На рис. 4–18 в качестве примера показаны сечения катушки в пазовой и лобовых частях, имеющей теплостойкую изоляцию на кремнийорганических лаках. Катушка в этом примере намотана из провода марки ПСДК со стеклянной изоляцией. Указанная на рис. 4–18 изоляция может применяться на напряжении до 500 *в* при окружной скорости якоря ниже 60 м/сек. – с двумя слоями стекломикаленты, выше 60 м/сек. – с тремя слоями стекломикаленты. Для машин меньшей окружной скорости три слоя стекломикаленты рекомендуются на напряжения от 500 до 1000 *в*. В случае если применяется голый провод, последний изолируется одним слоем стекломикаленты вполнахлеста.

4–5. Определение размеров катушек.

а. Определение размеров поперечного сечения.

Размеры поперечного сечения катушки могут быть получены как сумма соответствующих размеров меди и изоляции. Кроме того, должно быть учтено разбухание в лобовой части катушки при пропитке. Разбухания в пазовой части не происходит, так как при нормальной изоляции микафолием эта часть опрессовывается. Величина разбухания может быть принята на основании опытных данных равной по ширине $0{,}05x + 0{,}2$ мм. по высоте $0{,}05y$, где x равно числу проводников по ширине катушки, а y числу проводников по высоте катушки.

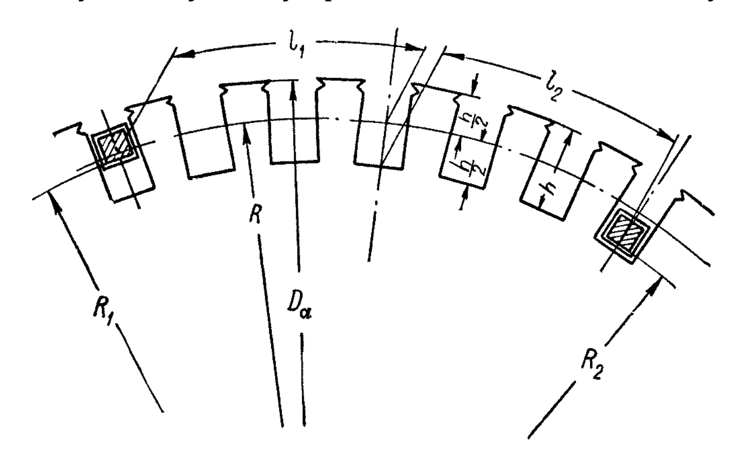


Рис. 4–19. Определение расстояния между сторонами катушек.

б. Определение расстояния между сторонами катушки.

Это расстояние равно длине дуги между двумя пазами якоря, в которых должны лежать стороны катушки. Длина дуги может быть определена из формулы:

$$l = \frac{2 \times \pi \times R \times yz}{Z} \quad (4-1)$$

где R – радиус дуги; Z – число пазов якоря; yz – зубцовый шаг, т. е. число зубцов якоря, заключенных между двумя сторонами одной катушки; этот шаг указывается в схеме обмотки. При приближенных подсчетах радиус R может быть взят как средний радиус катушки, т. е. радиус окружности, на которой лежит середина пазов (рис 4–19):

$$R = \frac{Da - h}{2} \quad (4-2)$$

где R – средний радиус катушки; h – глубина паза; Da – наружный диаметр якоря. В действительности, однако, одна сторона катушки лежит в верхней, а другая в нижней части паза. Поэтому полная ширина катушки l равна сумме двух дуг l_1 и l_2, причем эти дуги лежат на окружностях разных радиусов, как показано на рис. 4–19.

Зная размеры диаметра якоря, размеры паза, сечение проводников и их изоляцию, нетрудно определить величины R_1 и R_2. Тогда дуги l_1 и l_2 могут быть найдены таким образом:

$$l_1 = \frac{2 \times \pi \times R_1 \times yz}{2 \times Z} \quad (4-3)$$

$$l_2 = \frac{2 \times \pi \times R_2 \times yz}{2 \times Z} \quad (4-4)$$

полная ширина катушки:

$$l = l_1 + l_2 \quad (4-5)$$

в. Определение длины пазовой (прямой) части катушки

Длина прямой части катушки должна быть всегда больше длины паза (ширины якоря), что видно из рис. 4–15, где la – ширина якоря, s – высота нажимных пальцев, t – длина, на которую выступает пазовая часть катушки за нажимные пальцы. Удлинение пазовой части катушки на величину t необходимо делать для того, чтобы удалить от стали якоря лобовую часть, изоляция которой слабее изоляции пазовой части. Величина t для машин напряжением до 500 *в* берется обыкновенно равной 7–10 мм. Таким образом, зная ширину якоря, высоту нажимных пальцев и задаваясь величиной t, можно определить длину прямой части катушки.

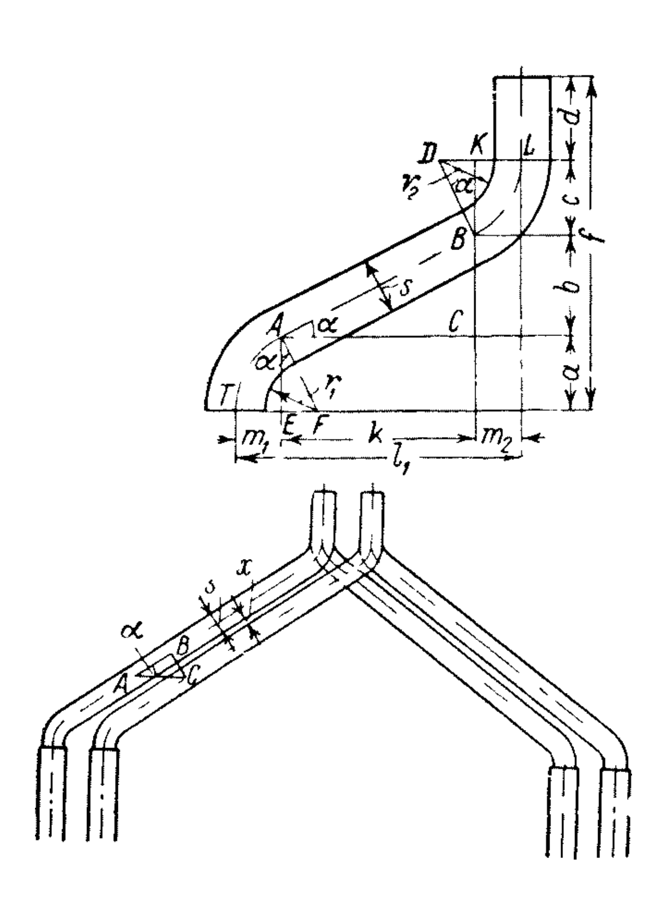


Рис. 4–20. Основные размеры лобовой части катушки.

г. Определение размеров лобовой части катушки.

На рис. 4–20 показаны основные размеры, которые требуется определить: α – угол наклона лобовой части; r_1 – радиус закругления при переходе от прямой к лобовой части катушки; r_2 – радиус закругления при переходе к головке; f – так называемый вылет лобовой части обмотки. Величина угла α зависит от зубцового шага обмотки и расстояния между лобовыми частями двух рядом расположенных катушек, причем, чем меньше угол α, тем меньше вылет f. Из треугольника АВС (нижняя часть рис. 4–20) имеем:

$$sin\alpha = \frac{BC}{AC} \qquad BC = x + s$$

где

$$\mathrm{AC} = \frac{2 \times \pi \times R}{Z} - \text{длина зубцового деления}$$

Здесь x – расстояние между лобовыми частями двух соседних катушек, s – ширина катушки в лобовой части, R – радиус окружности, на которой расположена лобовая часть, Z – число зубцов якоря. Таким образом:

$$sin\alpha = \frac{(x + s) \times Z}{2 \times \pi \times R}$$

Для уменьшения вылета лобовой части обмотки стремятся величину угла α по возможности уменьшить. Так как величины *R*, *Z* и *s* являются заданными, то для уменьшения α нужно уменьшить величину зазора *x*. Однако для того чтобы возможно было уложить обмотку, зазор *x* нельзя брать меньше 0,4 – 0,7 мм. Для обмоток малых якорей угол α следует определять по радиусу R_2, так как величина зазора в нижнем слое может быть настолько меньше, чем средний зазор, что укладка обмотки окажется невозможной. Таким образом, задаваясь величиной *x*, определяют sinα и сам угол α (по таблицам тригонометрических величин). Величинами радиусов закруглений r_1 и r_2 задаются, причем их обыкновенно берут равными от 5 до 15 мм., в зависимости от ширины катушки. Чем больше ширина стороны катушки, тем она более жестка и тем большими должны быть взяты радиусы закругления r_1 и r_2. Вылет лобовой части:

$$f = a + b + c + d$$

Величина а определяется из треугольника *AEF* (верхняя часть рис. 4–20):

$$a = AE = AFcos\alpha = \left(r_1 + \frac{s}{2}\right) \times cos\alpha$$

Аналогично из треугольника *BDK* (верхняя часть рис. 4–20) определяется величина *c*:

$$c = BK = \left(r_2 + \frac{s}{2}\right) \times cos\alpha$$

Величина *b* определяется из треугольника ABC (верхняя часть рис. 4–20):

$$b = BC = ACtg\alpha = ktg\alpha \quad (4-6)$$

где

$$k = l_1 - m_1 - m_2 \quad (4-7)$$

$$m_1 = TE = TF - EF = \left(r_1 + \frac{s}{2}\right) - \left(r_1 + \frac{s}{2}\right)sin\alpha = \left(r_1 + \frac{s}{2}\right) \times (1 - sin\alpha)$$

$$m_2 = KL = DL – DK = \left(r_2 + \frac{s}{2}\right) – \left(r_2 + \frac{s}{2}\right)sin\alpha = \left(r_2 + \frac{s}{2}\right) \times (1 – sin\alpha)$$

Подставляя значение m_1 и m_2 в формулу (4–7), получим:

$$k = l_1 - \left(r_1 + \frac{s}{2}\right) \times (1 - sin\alpha) - \left(r_2 + \frac{s}{2}\right) \times (1 - sin\alpha) = l_1 - (1 - sin\alpha) \times (r_1 + r_2 + s)$$

Подставляя значение *k* в формулу (4–6), получим:

$$b = [l_1 \times (1 - sin\alpha) \times (r_1 - r_2 + s)]tg\alpha \quad (4-8)$$

Величина *d* берется равной высоте катушки в пазовой части плюс 3–5 мм. Складывая найденные по вышеприведенным формулам величины и *a*, *b*, *c* и *d*, найдем вылет лобовой части обмотки. Приведенный расчет является приближенным, но практически дающим достаточно точные результаты.

4–6. Уравнительные соединения.

Уравнительные соединения конструктивно выполняются либо в виде колец, либо в виде вилок. На рис. 1–40 и 1–41 были показаны типы соединений. При уравнительных соединениях в виде колец, к последующим припаиваются пластины, соединяющиеся с соответствующими секциями.

При вилкообразных уравнительных соединениях концы вилок впаиваются в хомутики соответствующих секций. При отсутствии хомутиков в головках секций (катушечная обмотка) в последних зачищается изоляция, припаиваются уравнительные соединения и место спайки вновь изолируется.

4–7. Крепление обмотки.

Уложенная в пазах якоря обмотка при работе машины подвергается действию центробежной силы. Поэтому после укладки ее нужно закрепить как в пазах, так и в лобовых частях. Способ крепления обмотки в пазах зависит от формы последнего. В настоящее время наибольшее распространение имеют открытые пазы, хотя в некоторых случаях применяются и пазы полузакрытые. Крепление обмотки в открытых пазах производится посредством деревянных, гетинаксовых и текстолитовых клиньев или бандажей из стальной или бронзовой проволоки. Применять деревянные клинья не рекомендуется, так как при высыхании в процессе эксплуатации клинья обмотки ослабевают, а иногда даже выпадают. Крепление бандажом пазовой части обмотки применяется главным образом в малых машинах (см. рис. 4–21, *а*). Для того чтобы бандаж не выступал за пределы наружного диаметра якоря, листы стали якоря, находящиеся под бандажом, делаются несколько меньшего диаметра. В полузакрытых пазах обмотка закрепляется исключительно посредством клина (см. рис. 4–21, *б*). В тех случаях, когда вместо клиньев употребляется бандаж, последний располагается, как указано выше, в выемках, образованных из листов меньшего диаметра, в нескольких местах по длине стали якоря.

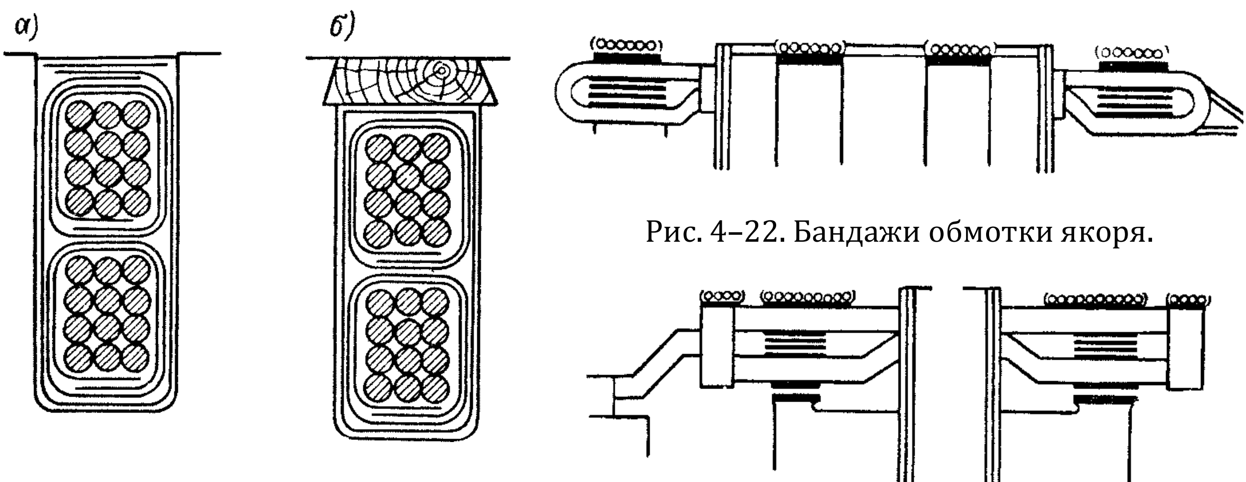


Рис. 4–21. Форма паза для крепления обмотки посредством бандажа (*а*) и клина (*б*).

Рис. 4–22. Бандажи обмотки якоря.

Рис 4–23. Добавочные бандажи на обмотке.

Бандаж состоит из витков стальной или бронзовой проволоки, наматываемой непосредственно на сталь якоря. Крепление лобовых частей обмотки также осуществляется проволочными бандажами, плотно прижимающими их к обмоткодержателям. Под бандажи подкладывается прокладка из миканита и лакоткани общей толщиной 0,5–1 мм. и шириной на 10– 15 мм. больше ширины бандажа. На рис. 4–22 показано крепление обмотки бандажами. При больших окружных скоростях лобовые части обмотки иногда укрепляются небольшими добавочными бандажами, накладываемыми на хомутики. Такое крепление показано на рис. 4–23.

4–8. Расчет бандажей.

Бандаж является весьма ответственной деталью крепления обмотки якоря, поэтому всегда необходимо произвести тщательный расчет его на механическую прочность. Ни в коем случае не рекомендуется брать число витков проволоки "на глазок", так как лопнувший от излишних допущенных напряжений бандаж может служить причиной аварии машины. При расчете бандажа как лобовой, так и пазовой части обмотки его следует рассматривать как свободно вращающееся кольцо, нагруженное равномерно по всей окружности центробежными силами. Общий ход расчета состоит в следующем. Определяется вес той части обмотки (пазовой или лобовой), которую должен удержать бандаж. В весе обмотки должен быть учтен и вес всей изоляции. Если имеются уравнительные соединения, расположенные непосредственно под лобовыми частями обмотки, то следует также учесть их вес. При расчете бандажей лобовой части со стороны коллектора следует учесть вес половины петушков. Затем выбирается диаметр проволоки. Обыкновенно употребляется специальная бандажная стальная или бронзовая проволока диаметром 0,5–1,5 мм. Чем больше диаметр якоря, тем большего диаметра берется проволока. Затем определяется напряжение от собственной центробежной силы бандажа по формуле:

$$\sigma_1 = KD_1^2 \times \left(\frac{n_1}{1000}\right)^2 \quad (\text{кг/см}^2)$$

где σ_1 – напряжение центробежной силы самого бандажа в кг/см^2; D_1 – диаметр бандажа в см. Нормально по ГОСТ разгонное число оборотов машины должно быть на 20% больше номинального числа оборотов т. е: $n_1 = 1{,}2 \times n_{\text{ном}}$. В отдельных случаях разгонное число оборотов может быть значительно больше. Коэффициент K для стальной проволоки равен 0,022, для бронзовой 0,024. Получив напряжение от собственной центробежной силы бандажа, определяют число витков по формуле:

$$w = 1{,}13 \times \frac{G \times D_2}{d^2 \times (Rz - \sigma_1)} \times \left(\frac{n_1}{1000}\right)^2 \quad (4-10)$$

где G – вес обмотки с изоляцией в кг; D_2 – средний диаметр обмотки в см; d – диаметр проволоки бандажа в см; Rz – допустимое напряжение растяжения в бандаже в кг/см^2. Для стальной проволоки Rz = 3000 – 3500 кг/см^2. Для бронзовой проволоки Rz = 1800 – 2000 кг/см^2. Большие из указанных цифр допустимы при наличии испытанной проволоки. Обыкновенно при больших окружных скоростях машины число витков получается очень большим, поэтому бывает затруднительно уложить все витки на заданный участок обмотки. Окружная скорость машины вычисляется по формуле:

$$v = \frac{\pi \times Da \times n_1}{60}$$

где v – окружная скорость в м/сек; Da – наружный диаметр якоря в *м*; n_1 – разгонное число оборотов в минуту). В этом случае витки укладываются в два–три ряда при том условии, что наибольший диаметр по бандажу не выходит за пределы диаметра якоря, так как в противном случае якорь нельзя будет завести в магнитную систему машины. Если представляется затруднительным уложить расчетное число витков на обмотку, следует взять большой диаметр проволоки, что дает возможность уменьшить число витков. Для этого весь расчет необходимо повторить сначала. Формулы (4–9) и (4–10) получаются на основании следующих рассуждений. Общее выражение для определения центробежной силы:

$$C = \frac{G}{g} \times \omega^2 \times R \quad (4-11)$$

где G – вес (в данном случае) одного витка проволоки:

$$G = \frac{\pi \times d^2}{4} \times \pi \times D_1 \times \gamma = \frac{\pi \times d^2 \times D_1}{4} \times \gamma$$

Здесь d – диаметр проволоки в см; D_1 – диаметр витка проволоки в см; γ – удельный вес материала проволоки в кг/см^3; ω – угловая скорость якоря:

$$\omega = \frac{\pi \times n_1}{30} \quad \left[\frac{1}{\text{сек}}\right]$$

g – ускорение силы тяжести; R – радиус бандажа в см. Представляя G в выражение (4–11) и заменяя $R = D_1/2$, имеем:

$$G = \frac{\pi^2 \times d^2 \times D_1 \times \gamma}{4 \times g} \times \frac{\pi^2 \times n_1^2}{30^2} \times \frac{D_1}{2} = \frac{\pi^4 \times d^2 \times D_1^2 \times \gamma \times n_1^2}{8 \times g \times 30^2}$$

Напряжение, которое испытывает проволока от собственного веса при вращении определяется по формуле:

$$\sigma = \frac{2 \times C}{\pi \times d^2} \quad (\text{кг/см}^2)$$

Подставляя в последнюю формулу найденное выражение для C и беря g = 981 см/сек^2 (так как D_1 взято в см.) и γ = 0,00785 кг/см^2 получим:

$$\sigma_1 = \frac{\pi^4 \times d^2 \times D_1^2 \times 7{,}85 \times 10^{-3} \times n_1^2 \times 2}{8 \times 981 \times 900 \times \pi^2 \times d^2} \times \frac{1000^2}{1000^2} = 0{,}022 \times D_1^2 \times \left(\frac{n_1}{1000}\right)^2 \quad (4-12)$$

Для бронзовой проволоки коэффициент k увеличивается пропорционально увеличению удельного веса, т. е.:

$$K = 0{,}022 \times \frac{\gamma_{\text{бр}}}{\gamma_{\text{ст}}} = 0{,}022 \times \frac{8{,}55}{7{,}85} = 0{,}024$$

Центробежная сила обмотки также определяется по формуле (4–11), т. е.:

$$C = \frac{G}{g} \times \omega^2 \times R$$

где G – вес той части обмотки вместе с изоляцией, которую должен удерживать бандаж, в кг; R – средний радиус обмотки в см. Напряжение в бандаже от центробежной силы обмотки определяется по формуле:

$$\sigma_2 = \frac{2 \times C}{\pi^2 \times d^2 \times w} = \frac{2 \times G \times \pi^2 \times n_1^2 \times D_2}{981 \times 30^2 \times 2 \times \pi^2 \times d^2 \times w} \times \frac{1000^2}{1000^2} = 1{,}13 \times \frac{G \times D_2}{d^2 \times w} \times \left(\frac{n_1}{1000}\right)^2 (4-13)$$

где w – число витков бандажа; d – диаметр проволоки бандажа в см. Общее напряжение в бандаже складывается из напряжения от центробежной силы самого бандажа и центробежной силы обмотки, удерживаемой бандажом, т. е.: $\sigma = \sigma_1 + \sigma_2$. Суммарное напряжение не должно превышать допускаемого напряжения на растяжение Rz т. е.:
$\sigma_1 + \sigma_2 \leq Rz$, откуда $\sigma_2 \leq Rz - \sigma_1$. Преобразуя формулу (4–13) таким образом, чтобы искомым являлось число витков, получим:

$$w = 1{,}13 \times \frac{G \times D_2}{d^2 \times \sigma_2} \times \left(\frac{n_1}{1000}\right)^2$$

и подставив значение σ_2, получим указанную выше формулу (4–10), т. е.:

$$w = 1{,}13 \times \frac{G \times D_2}{d^2 \times (Rz - \sigma_1)} \times \left(\frac{n_1}{1000}\right)^2$$

4–9. Пример определения размеров катушки.

Пусть дана обмотка якоря со следующими данными (см. рис. 4–24):

Скорость вращения	n = 1500 об. мин.
Наружный диаметр якоря	Da = 230 мм.
Длина стали якоря	la = 150 мм.
Число пазов якоря	Z = 41
Число коллекторных пластин	K = 123
Число секций	123
Число витков в секции	1
Число проводников в пазу	6
Размер проводников	1,56 × 10 мм.
Зубцовый шаг	y_Z = 10
Шаг по коллектору	y_K = 61
Размер паза	8×25 мм.

Обмотка катушечная – волновая из неизолированных проводников. Крепление обмотки в пазу производится при помощи бандажей (без клина).

Размеры пазовой части катушки по ширине.

Так как число пазов Z = 41, а полное число секций – 123, то число секций в катушке равно 123/41 == 3. Определим размеры поперечного сечения стороны катушки в пазовой части (рис. 4–24). Ширина меди 3×1,56 = 4,68 мм. Толщина изоляции проводников (лента миткалевая, толщиной 0,15 мм. вполнахлеста) 3×2×2×0,15 = 1,8 мм. Толщина общей микафолиевой изоляции (микафолий толщиной 0,15 мм. 2 слоя, перекрой сверху) 2×2×0,15 = 0,6 мм. Толщина общей изоляции (электрокартон один слой толщиной 0,1 мм. перекрой сверху) 1×2×0,1 = 0,2 мм. Полная ширина 7,28 мм.

Размеры пазовой части по высоте.

Высота меди 1×10 = 10 мм. Толщина изоляции проводника 1×2×2×0,15 = 0,6 мм. Толщина общей микафолиевой изоляции 1×5×0,15 = 0,75 мм. Толщина общей электрокартонной изоляции 1×3×0,1 = 0,3 мм. Полная высота 11,65 мм. Толщина защитной электрокартонной гильзы в пазу 0,2 мм. причем перекрой гильзы делаем сверху. Таким образом, размеры сечения, обмотки в пазу вместе с электрокартонной гильзой будут: по ширине 7,28 + (2×0,2) = 7,68 ≈ 7,7 мм. по высоте (2×11,65) + (3×0,2) = 23,9 ≈ 24 мм. Как мы видим, обмотка укладывается в паз, размеры которого 8×25 мм. причем сверху обмотки нужно проложить полоску электрокартона толщиной 1 мм.

Размеры катушки в лобовой части по ширине.

Ширина меди 3×1,56 = 4,68 мм. Толщина изоляции проводников 3×2×2×0,15= 1,8 мм. Толщина общей изоляции (тафтяная лента толщиной 0,18 мм. 1 слой вполнахлеста) 2×2×0,18 = 0,72 мм. Разбухание от пропитки 0,05×3×0,2 = 0,35 мм. Общая ширина 7,55 мм. ≈ 7,6 мм.

Размеры катушки в лобовой части по высоте.

Высота меди 1×10 = 10 мм. Толщина изоляции проводников 1×2×2×0,15 = 0,6 мм. Толщина общей изоляции 2×2×0,18= 0,72 мм. Разбухание от пропитки 0,05×1 = 0,05 мм. Общая высота 11,37 мм. ≈ 11,4 мм. Таким образом, размеры сечения в лобовой части – 7,6×11,4 мм.

Определение длины прямой части катушки.

Так как в данном случае мы имеем якорь небольших размеров, то нажимные пальцы отсутствуют. Поэтому, удлиняя прямую часть катушки на 10 мм. с каждой стороны против длины паза (ширины якоря), получим длину прямой части:

$$la + (2 \times 10) = 150 + 20 = 170 \text{ мм.}$$

Найдем теперь расстояние между сторонами катушки по формулам (4–2) – (4–5):

$$l = l_1 + l_2; \quad l_1 = \frac{2 \times \pi \times R_1 \times yz}{2 \times Z} \text{ (мм.)}$$

$$R_1 = \frac{230}{2} - 25 + 0{,}2 + 11{,}65 + 0{,}1 + 0{,}3 = 102{,}2 \text{ мм.}$$

$$l_1 = \frac{2 \times \pi \times 102{,}25 \times 10}{2 \times 41} = 78{,}4\text{мм.}; \quad l_2 = \frac{2 \times \pi \times R_{1_{yz}}}{2 \times Z}$$

$$R_1 = \frac{230}{2} - 25 + 0{,}2 + 0{,}1 + 0{,}3 = 90{,}6 \text{ мм.}$$

$$l_2 = \frac{2 \times \pi \times 90{,}6 \times 10}{2 \times 41} = 60 \text{ мм.} \quad l = 78{,}4 + 60 = 138{,}4 \text{ мм.}$$

Определение размеров лобовой части со стороны, противоположной коллектору.

Найдем угол наклона лобовой части α:

$$sin\alpha = \frac{x + s}{2 \times \pi \times R}$$

Величину x принимаем равной 0,7 мм. Радиус R можно принять равным среднему радиусу катушки, т. е. радиусу окружности, проходящей через середину пазов:

$$R = \frac{Da - h}{2} = \frac{230 - 25}{2} = 102{,}5 \text{ мм.}$$

Ширина сечения в лобовой части нами определена: s = 7,6 мм. Подставляя эти величины, найдем:

$$sin\alpha = \frac{(0{,}7 + 76) \times 41}{2\pi \times 102{,}5} = 0{,}528$$

По таблице находим угол α = 31°54' ≈ 32°; cosα = 0,848. Радиусы закругления в лобовой части принимаем: r_1 = 5 мм; r_2 = 8 мм. Найдем теперь отдельные величины, из которых складывается вылет лобовой части (см. рис. 4–20):

$$a = \left(r_1 + \frac{s}{2}\right) cos\alpha = \left(5 + \frac{7{,}6}{2}\right) \times 0{,}848 = 7{,}46 \text{ мм.}$$

$$c = \left(r_2 + \frac{s}{2}\right) cos\alpha = \left(8 + \frac{7{,}6}{2}\right) \times 0{,}848 = 10 \text{ мм.}$$

$$b = [l_1 - (1 - sin\alpha) \times (r_1 + r_2 + s)]tg\alpha = [78{,}4 - (1 - 0{,}528) \times (5 + 8 + 7{,}6)] \times 0{,}623 = \\ = 4258 \text{ мм.}$$

$$d = 11{,}4 + 5 = 16{,}4 \text{ мм.}$$

Вылет лобовой части:

$$f = 7{,}46 + 10 + 42{,}8 + 16{,}4 = 76{,}66 \approx 77 \text{ мм.}$$

Размеры лобовой части со стороны коллектора.

Вылет лобовой части здесь можно принять равным вылету с противоположной стороны: f = 77 мм. Размеры l_3 + l_4 определяются как длина дуги, заключенной между двумя коллекторными пластинами, к которым присоединяются концы секций, причем дуга l_3 берется по радиусу R_3 равному 100 мм., а дуга l_4 по радиусу R_4, равному 80 мм.

$$l_3 = \frac{2 \times \pi \times R_3 \times y_K}{2K} = \frac{2 \times \pi \times 100 \times 61}{2 \times 123} = 153 \text{ мм.}$$

$$l_4 = \frac{2 \times \pi \times R_4 \times y_K}{2K} = \frac{2 \times \pi \times 80 \times 61}{2 \times 123} = 122 \text{ мм.}$$

$$l_3 + l_4 = 153 + 122 = 275 \text{ мм.}$$

Расстояние между концами секций h есть длина дуги, заключенной между двумя коллекторными пластинами. Эта дуга может быть с достаточной точностью взята на окружности, проходящей посередине высоты лобовой части обмотки:

$$h = \frac{2 \times \pi \times R}{K} = \frac{2 \times \pi \times 96}{123} \approx 5 \text{ мм.}$$

4–10. Пример расчета бандажа для пазовой части обмотки.

Как показано на рис. 4–24, пазовая часть обмотки укреплена четырьмя равномерно расположенными по длине бандажами. Вес обмотки в этом случае следует брать на длине, превышающей длину пазовой части, так как крайние бандажи, уложенные поблизости от лобовых частей, берут на себя частично нагрузку от центробежной силы этих частей. В данном примере следует считать общую длину обмотки, которую можно отнести к бандажам пазовой части, равной длине прямой части, заключенной в гильзу, т. е. 170 мм. Вес прямой части обмотки с изоляцией G = 7,2 кг. Средний диаметр обмотки (рис. 4–24) D_2 = 20,5 см. Средний диаметр бандажа берем с округлением D_1 = 230 мм. Номинальная скорость вращения машины n = 1500 об. мин. Разгонная скорость вращения n_1 = 1,2×n = 1,2×1500 = 1800 об. мин. Вычисляем напряжение в бандаже от центробежной силы самого бандажа по формуле (4–9). Проволоку берем стальную диаметром d = 0,5 мм. = 0,05 см. Допустимое напряжение на растяжение Rz = 3000 кг/см^2.

$$\sigma_1 = K \times D_1^2 \times \left(\frac{n_1}{100}\right)^2 = 0{,}022 \times 232 \times \left(\frac{1800}{1000}\right)^2 = 37{,}7 \approx 38 \text{ кг/см}^2$$

Дальше по формуле (4–10) определяем необходимое число витков:

$$w = 1{,}13 \times \frac{G \times D_2}{d^2 \times (Rz - \sigma_1)} \times \left(\frac{n_1}{1000}\right)^2 = 1{,}13 \times \frac{7{,}2 \times 20{,}5}{0{,}05^2 \times (3000 - 38)} \times \left(\frac{1800}{1000}\right)^2 = 72$$

Распределяем их на четыре бандажа, по 18 витков в каждом. В данном примере, благодаря тому, что диаметр проволоки очень мал и число витков небольшое, все они свободно помещаются на стали якоря в виде четырех однорядных бандажей.

В этом случае не надо было в месте расположения бандажей делать уменьшенный диаметр стали, так как бандаж очень незначительно выступает за внешний диаметр якоря. При наличии достаточного зазора между полюсами и якорем такое наложение бандажей на сталь якоря вполне допустимо.

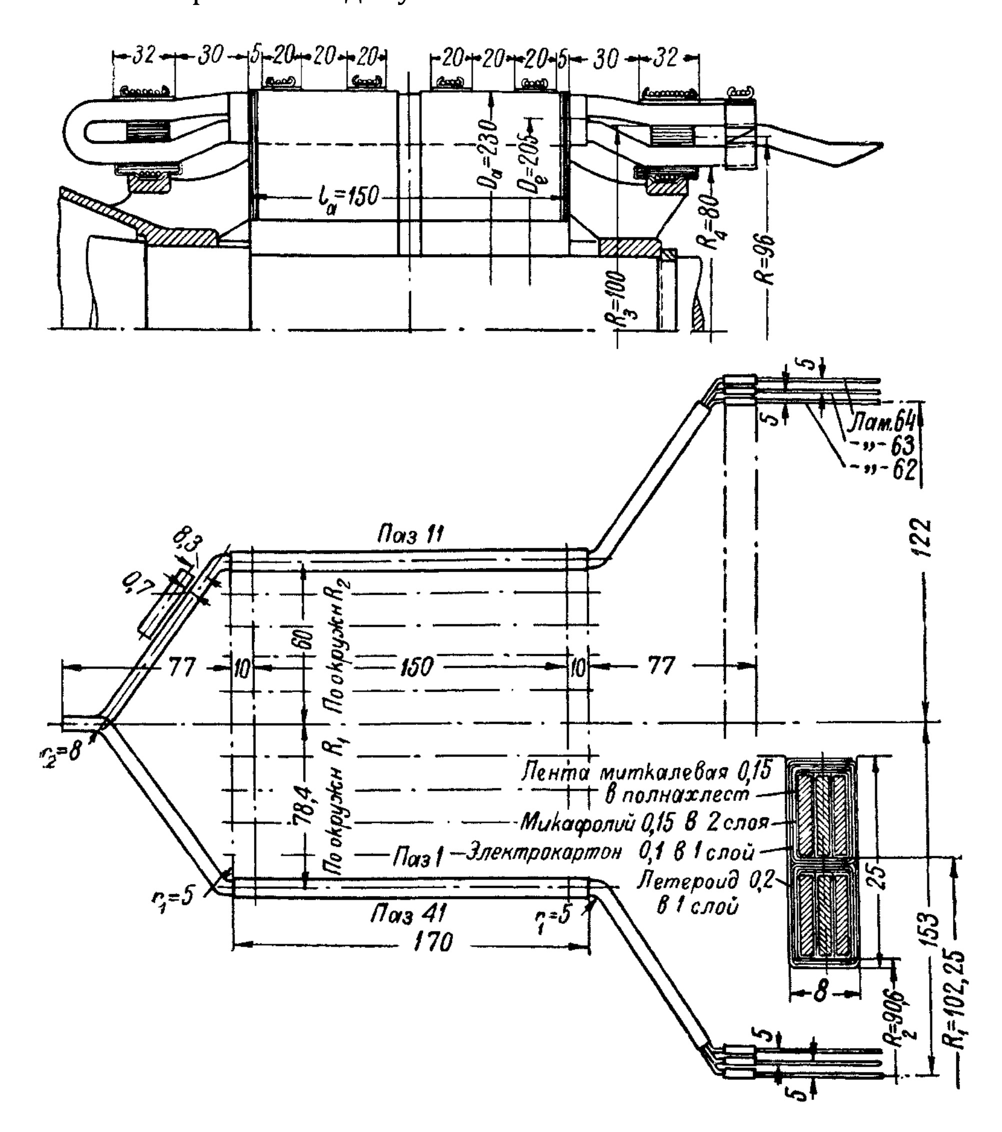


Рис. 4–24. Обмотка якоря.

4–11. Пример расчета бандажа для лобовой части обмотки.

Рассчитаем бандаж, удерживающий лобовую часть, противоположную коллектору [также по формуле (4–9) и (4–10)]. Вес лобовой части обмотки с изоляцией (уравнительные соединения отсутствуют), G = 5,4 кг. Средний диаметр обмотки в лобовой части D_2 = 190 мм. Диаметр стальной проволоки d = 0,75 мм. Диаметр бандажа с округлением D_1 = 225 мм. Напряжение в бандаже от собственной центробежной силы:

$$\sigma_1 = K \times D_1^2 \times \left(\frac{n_1}{1000}\right)^2 = 0{,}022 \times 22{,}52 \times \left(\frac{1800}{1000}\right)^2 \approx 38\,\frac{\text{кг}}{\text{см}^2}$$

Определяем необходимое число витков:

$$w = 1{,}13 \times \frac{G \times D_2}{d^2 \times Rz - \sigma_1} \times \left(\frac{n_1}{1000}\right)^2 = 1{,}13 \times \frac{5{,}4 \times 19}{0{,}0752 \times (3000 - 38)} \times \left(\frac{1800}{1000}\right)^2 = 24$$

Эти витки вполне можно уложить в один ряд.

В том случае, когда число витков получается очень большое, их обычно разделяют по длине лобовой части на 2–3 отдельных бандажа. В каждом бандаже может быть 2–3 ряда витков проволоки. В один ряд по всей длине лобовой части витки в этом случае не укладываются, так как сплошной бандаж резко ухудшает вентиляцию лобовых частей обмотки и может послужить причиной недопустимого ее перегрева. Со стороны коллектора наложение бандажа необходимо произвести в двух местах: на лобовую часть до хомутиков и на хомутики. Первый бандаж нет надобности рассчитывать; необходимо, воспользовавшись расчетом для лобовой части, противоположной коллектору, взять такое же количество витков. Второй бандаж необходим из тех соображений, что основной бандаж лобовой части расположен довольно далеко от хомутиков; следовательно, последние могут отгибаться при вращении, в особенности быстроходных машинах с тем же числом оборотов, что в данном примере. Расчет бандажа для хомутиков ведется обычным способом. К весу, приходящемуся на бандаж, следует отнести вес обмотки в хомутиках, вес самих хомутиков, вес изоляции и вес петушков, если они находятся под хомутиками. Для данного примера следует брать половину веса петушков, так как они расположены не под хомутиками, а вынесены, поскольку диаметр коллектора немногим меньше диаметра якоря. Общий вес хомутиков, обмотки в хомутиках, изоляции и половины петушков G = 1,6 кг. Напряжение в бандаже от собственной центробежной силы бандажа равно напряжению в бандаже лобовой части обмотки, т. е. σ_1 = 38 кг/см^2. Определяем необходимое число витков:

$$w = 1{,}13 \times \frac{G \times D_2}{d^2 \times (Rz - \sigma_1)} \times \left(\frac{1800}{1000}\right)^2 = 1{,}13 \times \frac{1{,}6 \times 19}{0{,}05^2 \times (3000 - 38)} \times \left(\frac{1800}{1000}\right)^2 = 16$$

Основные бандажи на лобовых частях обмотки должны быть расположены над обмоткодержателями, как это показано на рис. 4–24, для более жесткого скрепления всей лобовой части.

4–12. Обмоткодержатели.

Обмоткодержатель представляет собой фасонную литую или сварную шайбу и может быть самых разнообразных конструкций. На рис. 4–25 и 4–26 показаны различные выполнения обмоткодержателей. Обмоткодержатели служат для двух целей: во–первых, они представляют собой шайбы, между которыми зажимаются листы стали якоря; во–вторых, обмоткодержатель снабжается кольцевым выступом, на который опирается лобовая часть обмотки. Этот кольцевой выступ изолируется нормально электрокартоном. Для получения влагостойкой и теплостойкой изоляции электрокартон заменяется миканитом. Способы изолировки обмоткодержателей даны в гл. 11.

4–13. Коллектор, траверса и щеткодержатели.

Коллектор состоит из ряда медных пластин, расположенных по цилиндру. Обычное исполнение коллектора показано на рис. 4–27. Отдельные пластины изолированы друг от друга твердым коллекторным миканитом и стянуты между двумя специальными изолированными конусными кольцами. Поэтому внутренняя часть пластины имеет форму ласточкиного хвоста, в углубления которого входят соответствующие выступы колец. Одно из колец часто выполняется заодно с втулкой (или буксой) коллектора или плотно насаживается на нее. Другое кольцо притягивается к втулке болтами или специальной гайкой. При этом, благодаря конусности колец возникает усилие между кольцами и ласточкиными хвостами пластин, прижимающее последние к оси коллектора. В быстроходных машинах вследствие больших центробежных сил может происходить выпучивание коллекторных пластин.

Для предотвращения этого явления коллекторные пластины в таких машинах стягиваются одним или несколькими стальными кольцами, надеваемыми в горячем состоянии. Кольца изолируются от пластин миканитовыми прокладками (см. рис. 4–28).

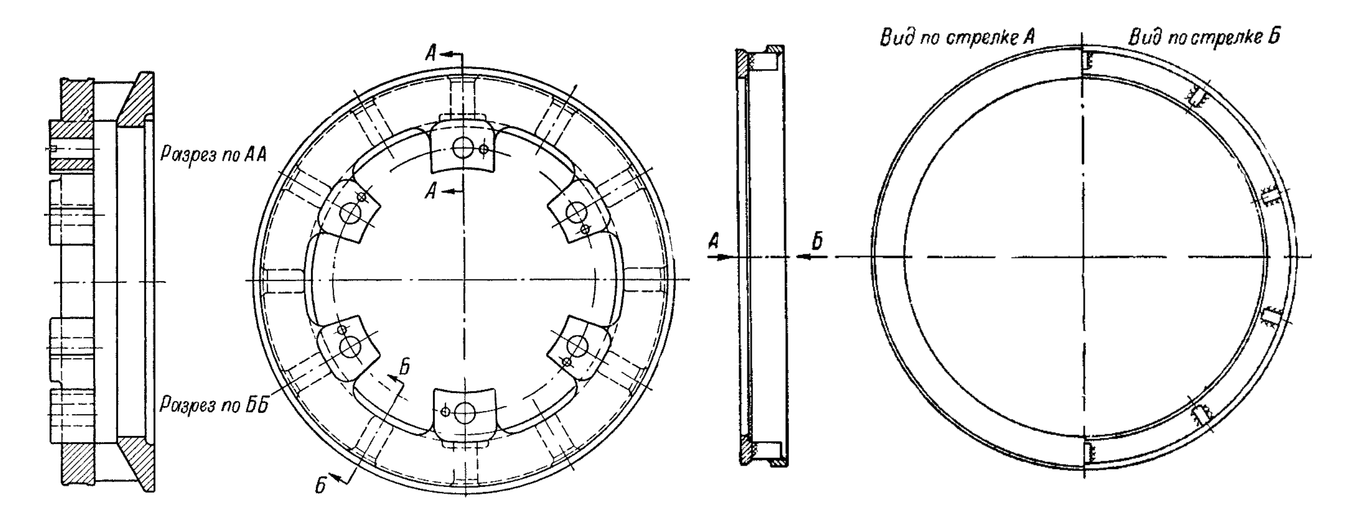


Рис. 4–25. Обмоткодержатель литой. Рис. 4–26. Обмоткодержатель сварной.

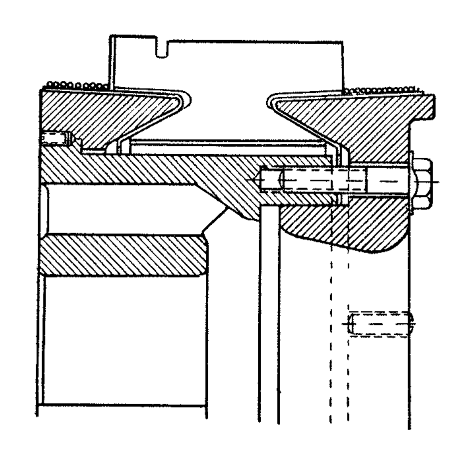


Рис. 4–27. Коллектор.

Для изоляции пластин от нажимных колец служат так называемые манжеты, прессованные из миканита по форме выступов нажимных колец. Коллекторные пластины имеют с одной стороны прорезы (шлицы), куда впаиваются так называемые петушки, представляющие собой пластины, соединяющие обмотку якоря с коллекторными пластинами. Они изготовляются из полосовой или листовой меди. В зависимости от взаимного расположения концов обмотки и коллектора петушки могут иметь ту или иную форму, как показано на рис. 4–29, *а* и *б*.

Поперечное сечение петушков определяется по формуле:

$$f = \frac{I}{2a} \times \frac{\sqrt{2 \times x \times p}}{3 \times K}$$

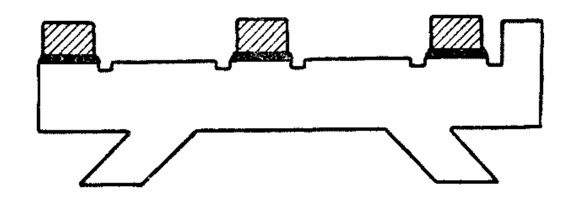


Рис. 4–28. Коллектор со стяжными кольцами.

где I – ток в якоре; $2a$ – число параллельных ветвей; K – число коллекторных пластин; p – число пар полюсов; x = 5 при числе коллекторных пластин перекрываемых щеткой равном двум или больше двух; x = 8 при одной коллекторной пластине перекрываемой щеткой. Соединение петушков с коллекторными пластинами производится впайкой их в шлицы пластин. Для более надежного соединения в быстроходных машинах петушки, кроме пайки, приклепываются. Другие концы петушков соединяются с концами якорной обмотки при помощи хомутиков, с которыми они также склепываются, и пропаиваются. На рис. 4–29, *а* и *б* показаны хомутики с петушками, а на рис. 4–30 показан хомутик стержневой обмотки со стороны, противоположной коллектору (без петушка). Траверса служит для укрепления пальцев, на которые насаживаются щеткодержатели, число пальцев обычно равно числу полюсов машины.

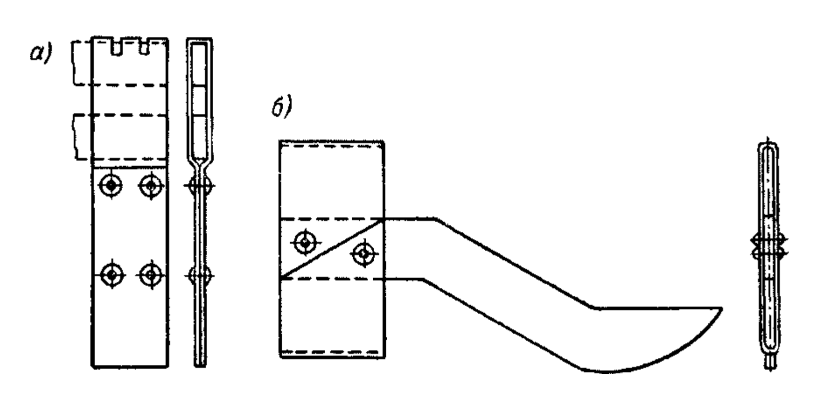


Рис. 4–29. Хомутики с петушками.

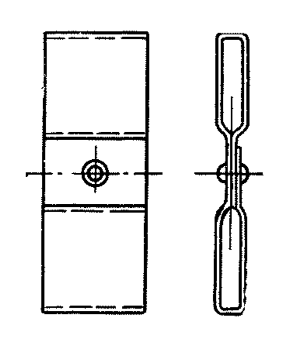


Рис. 4–30. Хомутик стержневой обмотки со стороны, противоположной коллектору (без петушка).

В современных машинах применяются почти исключительно электрографитовые щетки, размер которых по окружности коллектора выбирается таким образом, чтобы щетка перекрывала от 1½ до 3 коллекторных пластин. Размер щетки по длине коллектора обычно бывает от 10 до 35 мм. Число щеток на каждом пальце зависит от допускаемого тока на одну щетку. Зная ток, приходящийся на каждый палец, нетрудно определить число щеток на нем. Щеткодержатели бывают самых разных конструкций. Основное назначение щеткодержателей – прижимать щетку с необходимой силой к коллектору, причем она должна сидеть в обойме щеткодержателя так, чтобы не было вибрации и перекосов, которые являются одной из причин искрения на коллекторе. Нажатие щеток осуществляется спиральной или пластинчатой пружиной, укрепленной на щеткодержателе. На рис. 4–31 представлена конструкция щеткодержателей со спиральной пружиной. Каждая группа щеток, расположенных под одним полюсом, помещается на отдельном пальце. Последний представляет собой цилиндрический стержень, закрепляемый на траверсе и изолированный от нее. В качестве изоляции обыкновенно применяются изолитовые или электрокартонные втулки и шайбы. Конструкции самой траверсы весьма разнообразны. Их можно разбить на два типа: лучевые (рис. 4–32) и кольцевые (рис. 4–33). Лучевые траверсы обычно крепятся на подшипниках машины, а кольцевые на станине.

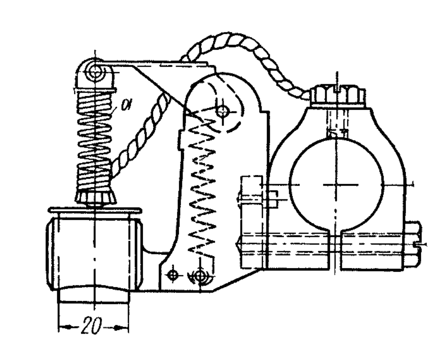


Рис. 4–31. Щеткодержатель со спиральной пружиной.

Закрепление траверсы допускает возможность ее поворота на некоторый угол вокруг оси машины, что, как известно, необходимо для правильной установки щеток.

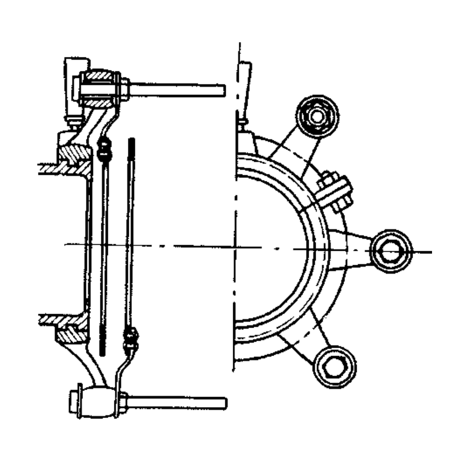


Рис. 4–32. Траверса лучевого типа.

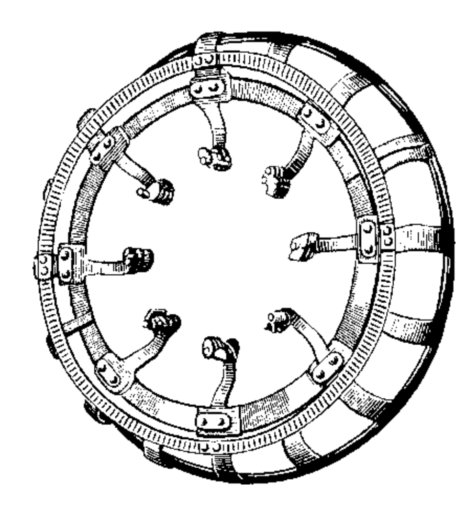


Рис. 4–33. Траверса кольцевого типа.

4–14. Обмотки возбуждения.

Обмотки возбуждения машин постоянного тока могут быть разделены на параллельные (шунтовые), последовательные (сериесные), обмотки добавочных полюсов и компенсационные обмотки. Все эти обмотки являются неподвижными и располагаются на полюсах машины. В зависимости от способа возбуждения машина имеет либо параллельную, либо последовательную обмотку. В машинах со смешанным возбуждением (компаунд–машины) имеется как последовательная, так и параллельная обмотки. Что касается добавочных полюсов, то ими, как правило, снабжаются все современные машины. Компенсационная обмотка применяется в машинах с тяжелыми условиями коммутации.

а. Параллельные катушки.

Параллельные катушки состоят обычно из большого числа витков небольшого сечения. Они мотаются из круглых или прямоугольных проводников с изоляцией ПБД, реже ПВО. В мелких машинах (катушки из очень тонких проводников) применяются проводники с шелковой или эмалевой изоляцией. В последнее время в качестве заменителя меди в параллельных катушках начинают находить применение алюминиевые провода. Опыт эксплуатации машин с такими проводами еще невелик, однако ряд заводов проводит постепенно их внедрение в производство. Ввиду того, что пайка алюминия представляет значительные трудности, к началу и концу алюминиевого провода, из которого намотана катушка, приваривается встык медный провод такого же сечения, к которому припаивают выводные пластины. В небольших машинах параллельные катушки надеваются непосредственно на полюс. Они наматываются на специальных оправках и затем скрепляются тафтяной лентой. Для получения усиленной изоляции от сердечника полюса и от станины катушки в местах соприкосновения с этими частями покрываются гибким миканитом и лакотканью. На рис. 4–34 представлен полюс с параллельной катушкой такого типа. В больших и средних машинах параллельные катушки наматываются на специальный каркас, вместе с которым они надевают на полюс (рис. 4–35). Каркас, показанный на рис. 4–36, изготавливается из тонкой листовой стали толщиной 1–2 мм. С одной стороны бортики каркаса отгибаются заранее, а с другой – после намотки катушки. К отогнутым бортикам приклепываются или привариваются стальные шайбы. В машинах с нормальной изоляцией каркас покрывается четырьмя–пятью слоями электрокартона толщиной 0,5 мм. Между стальными шайбами каркаса и катушкой кладутся электрокартонные шайбы толщиной 2–2,5 мм. В машинах с усиленной изоляцией электрокартон заменяется миканитом. Так как в месте стыка электрокартонных шайб с изоляцией стенок каркаса часто происходит пробой изоляции, то в этом месте либо прокладываются согнутые под прямым углом полоски лакоткани, либо в углах кладется виток из крученого пенькового шнура. Выводные концы катушки чаще всего выполняются следующим образом. После наложения первого витка к началу его припаивается медная тонкая полоска (рис. 4–35), площадь поперечного сечения которой больше площади поперечного сечения проводника катушки. Длина этой полоски выбирается таким образом, чтобы после намотки всех витков конец ее выступал наружу и служил одним из выводных концов катушки.

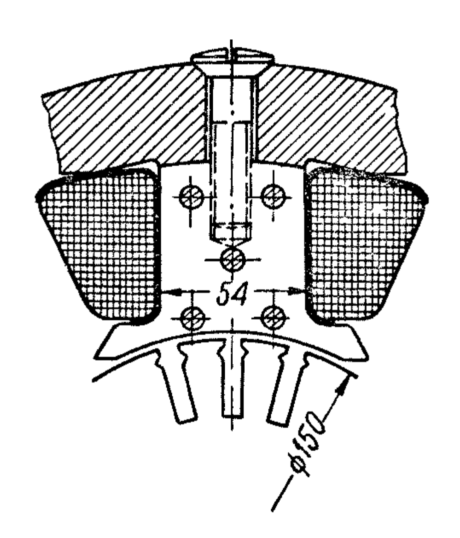


Рис. 4–34. Полюс с параллельной катушкой.

После намотки приблизительно половины всех рядов витков закладывается вторая пластина, но изогнутая так, чтобы один конец ее мог быть припаян к концу последнего витка катушки, а другой выходил наружу и служил вторым выводным ее концом. Наматывая оставшиеся ряды витков, закрывают ими выводную пластину, и таким образом прочно удерживают ее в катушке. Выводные пластины изолируются лакотканью и тафтяной лентой. К концам пластин прикрепляются и припаиваются зажимы, к которым подключаются соединительные проводники (см. рис. 4–35). Для получения противосыростной изоляции, помимо замены электрокартона миканитом, катушка подвергается компаундированию (подробно см. гл. 10).

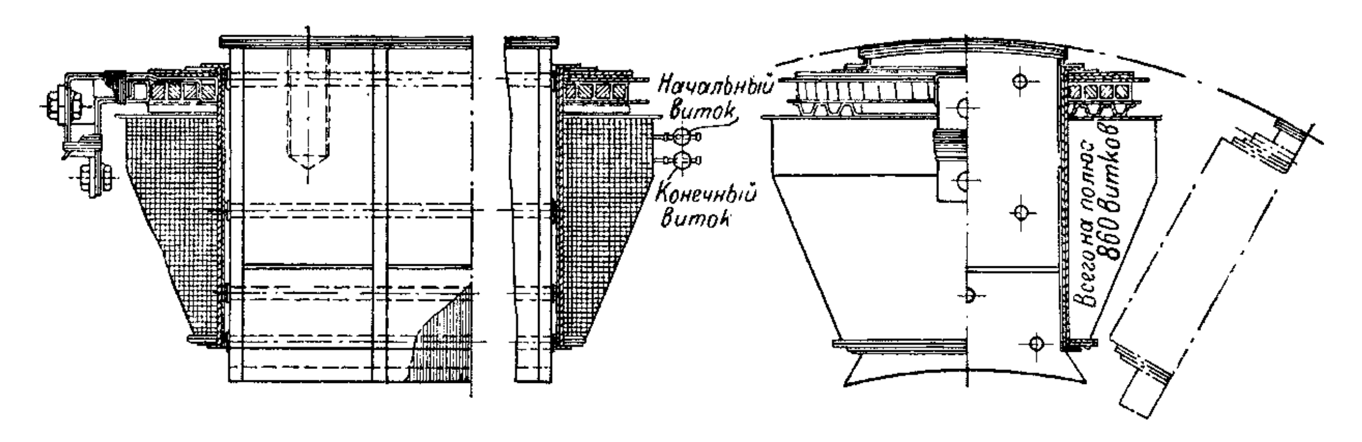


Рис. 4–35. Главный полюс с параллельной и последовательной катушками.

Для получения теплостойкой изоляции применяют проводники, изолированные специальными материалами, состоящими в основном из асбеста. Изоляция каркаса в этом случае может быть выполнена из миканита или других теплостойких материалов. Размеры катушек и их форма определяются в зависимости от числа витков, сечения проводников, а также от наличия свободного места между полюсами. При большом количестве рядов катушку обычно выполняют ступенчатой формы, благодаря чему удается уложить требуемое по расчету количество витков.

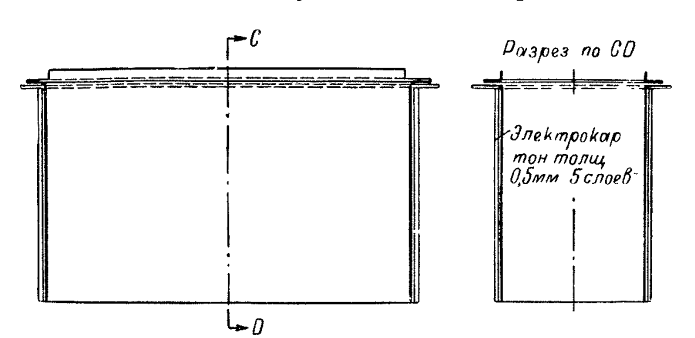


Рис. 4–36. Каркас с нормальной изоляцией.

Одновременно увеличивается наружная поверхность и, следовательно, улучшаются условия ее охлаждения. Для увеличения поверхности охлаждения параллельные катушки часто выполняются секционированными. На рис. 4–37 показана ступенчатая катушка, разделенная на две секции. Между отдельными секциями прокладываются стальные или деревянные распорки. Первые являются более надежными, так как деревянные распорки могут со временем ослабеть вследствие высыхания. Наиболее простыми и дешевыми распорками являются стальные, показанные на рис. 4–38. Они вырезаются из тонкой листовой стали, загибаются и свариваются. Распорки закрепляются несколькими витками пенькового шнура.

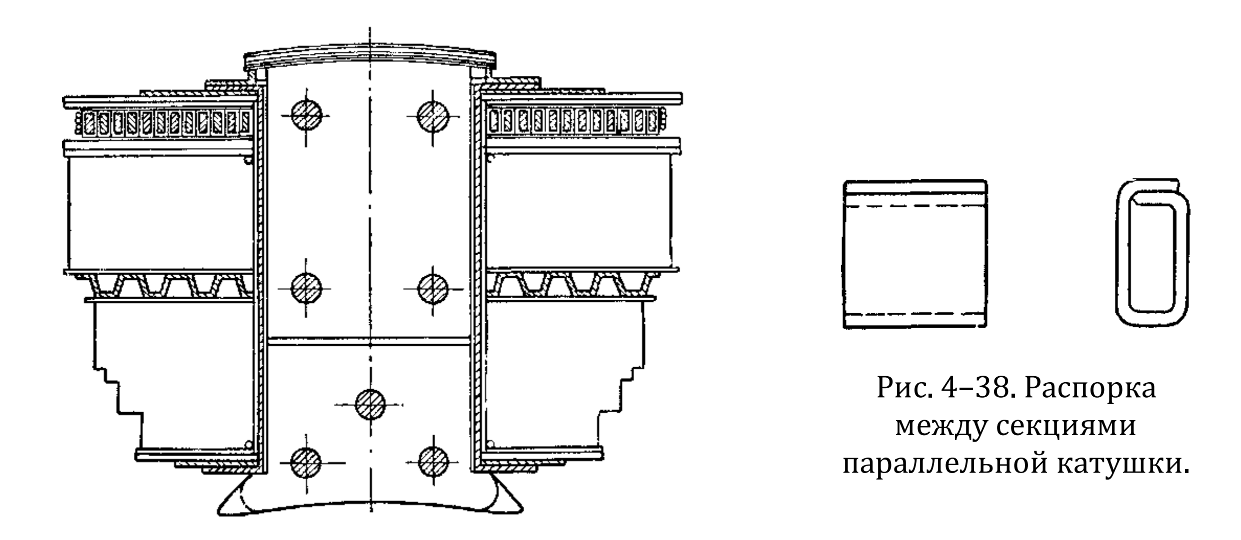


Рис. 4–37. Ступенчатая катушка из двух секций.

Рис. 4–38. Распорка между секциями параллельной катушки.

б. Последовательные катушки.

Последовательные катушки наматываются обыкновенно из проводников прямоугольного сечения. Проводники применяются как изолированные, так и (при больших сечениях) голые. В последнем случае между отдельными витками прокладывается изоляция из электрокартона. Были попытки использовать алюминиевые проводники, которые не требуют никакой изоляции, так как в обычных условиях поверхность алюминия покрывается очень тонким слоем окиси, создающем естественную изоляцию между витками. Катушки из алюминиевых проводников значительно легче медных и обладают хорошей теплоотдачей. Однако катушки из голого алюминия широкого применения не получили вследствие трудности обеспечения надежного контакта с медью. Так как последовательные катушки обычно имеют проводники большого сечения, то намотка их в несколько рядов представляет затруднение ввиду сложности выгибания проводника при переходе из одного ряда в другой. При плоских проводниках (лента) такая намотка становится совершенно невыполнимой. В этих случаях, если невозможно все витки уместить в одном ряду, намотку ведут двумя проводниками в разные стороны, причем концы их заранее соединяют переходной пластиной. Получается катушка с двумя рядами витков, с выводами снаружи. Для укрепления витков на катушку накладывается проволочный бандаж. Так же как и параллельные, последовательные катушки изготовляются на каркасе и без каркаса. В машинах смешанного возбуждения на полюсах помещаются параллельные и последовательные катушки. Они обычно располагаются одна над другой, так как при расположении одной катушки внутри другой затрудняется охлаждение внутренней катушки. На рис. 4–35 и–4–37 показан полюс с параллельной и последовательной катушками возбуждения.

в. Катушки добавочных полюсов.

Катушки добавочных полюсов, наматываемые из плоской (ленточной) меди, ничем не отличаются от последовательных катушек, и наиболее просты в изготовлении. Однако при больших токах катушки приходится изготовлять из толстой плоской меди, а для лучшего охлаждения – из голых проводников, причем намотка ведется на узкую сторону проводника (на ребро). Между отдельными витками катушки прокладываются витки пенькового шнура, благодаря чему воздух хорошо проникает между витками, обеспечивая хорошее охлаждение. Изоляция катушки от сердечника накладывается непосредственно на сердечник полюса и состоит обычно из пяти–шести слоев электрокартона толщиной 0,5 мм.

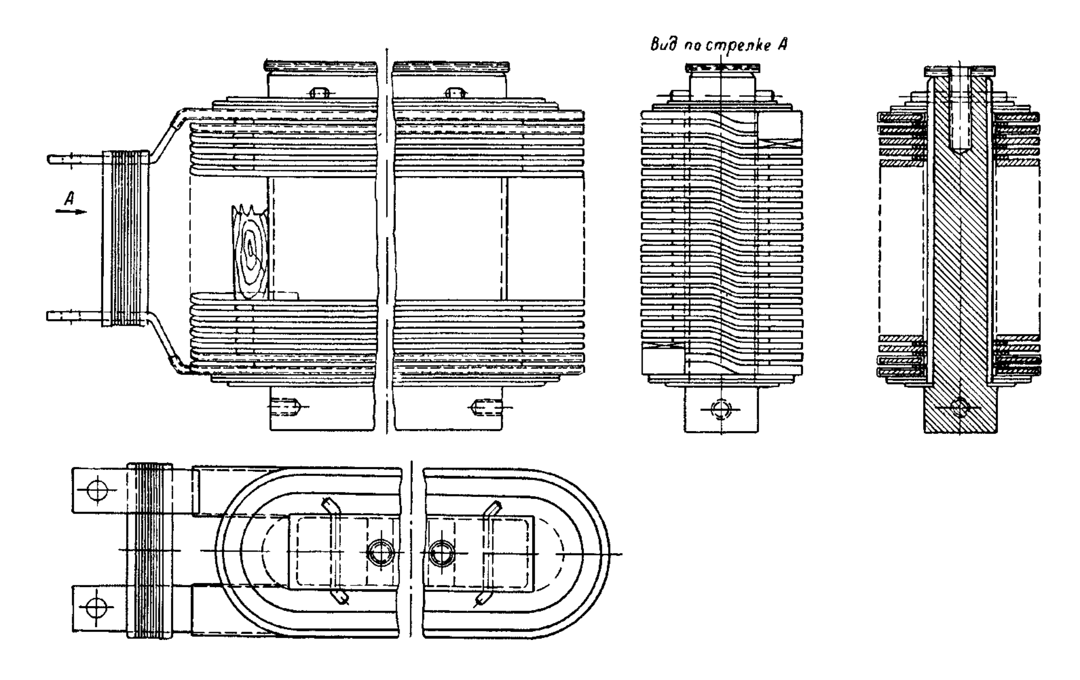


Рис. 4–39. Добавочный полюс с обмоткой.

Так как при намотке катушки витки ее образуют винтовую линию, торцовые стороны катушек не имеют плоской поверхности, что затрудняет закрепление ее на полюсе. Чтобы выровнять катушку, одну ее сторону после намотки осаживают в специальном приспособлении под прессом, чем достигается выравнивание торцовых сторон. На рис. 4–39 показан добавочный полюс с обмоткой. В случае замены меди алюминием, что в настоящее время иногда практикуется, после намотки катушку подвергают оксидированию. При этом поверхность витков покрывается непроводящей пленкой, которая служит изоляцией между витками. Контактные поверхности выводных концов катушки армируются медными пластинами, которые лудятся, т. е. обеспечивается надежная контактная поверхность. Армирование медными пластинами может производиться холодным способом путем местного вдавливания медной пластины в алюминиевую шину специальным прессом. На рис. 4–40 показаны выводы катушки добавочного полюса, армированные медными пластинами.

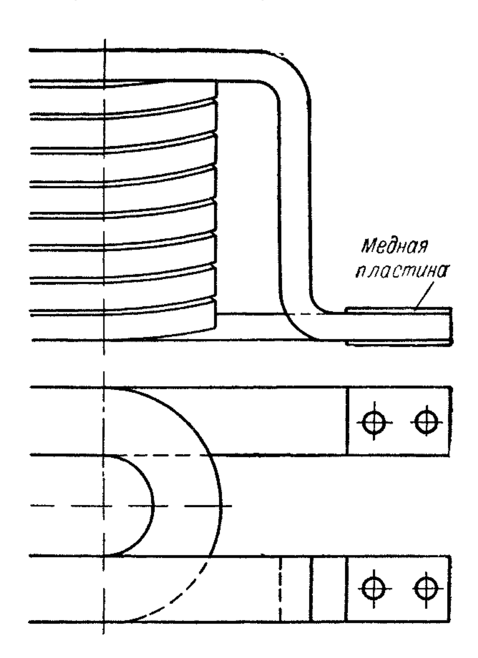


Рис. 4–40. Выводы алюминиевой катушки добавочного полюса, армированные медными пластинами.

Глава пятая
Конструкция обмоток статоров синхронных и асинхронных машин.

5–1. Классификация статорных обмоток.

Обмотки статоров синхронных и асинхронных машин могут выполняться в виде катушечных или в виде стержневых обмоток. Последние употребляются в турбогенераторах и крупных синхронных машинах с явно выраженными полюсами и рассматриваться здесь не будут. В современных машинах переменного тока статорные обмотки преимущественно выполняются двухслойными. Однако среди машин прежних выпусков, находящихся в настоящее время в эксплуатации, имеется большое количество машин с однослойной обмоткой. Причины, по которым двухслойные обмотки получили наибольшее распространение, были указаны выше. С конструктивной и производственной сторон эти преимущества заключаются в том, что при двухслойных обмотках все катушки одинаковы по форме и размерам. Это обстоятельство значительно упрощает их изготовление, в особенности при массовом производстве. В однослойных обмотках отдельные катушки обыкновенно неодинаковы между собой как по расстоянию между катушечными сторонами, так и по форме лобовых частей. Последние располагаются в два или три ряда по окружности. На рис. 5–1 видим статор с однослойной обмоткой, а на рис. 5–2 – с двухслойной. Изоляция катушек для открытых и полузакрытых пазов различается по своему выполнению. На рис. 5–3 показаны наиболее употребительные в настоящее время формы пазов для статорных обмоток. При открытых пазах катушка целиком изготовляется до вкладки в пазы на шаблоне и полностью изолируется. Исключением являются обмотки для напряжения до 500 *в*. Здесь в большинстве случаев до вкладки катушек изолируется паз. При полузакрытых пазах нужно различать следующие выполнения катушек:

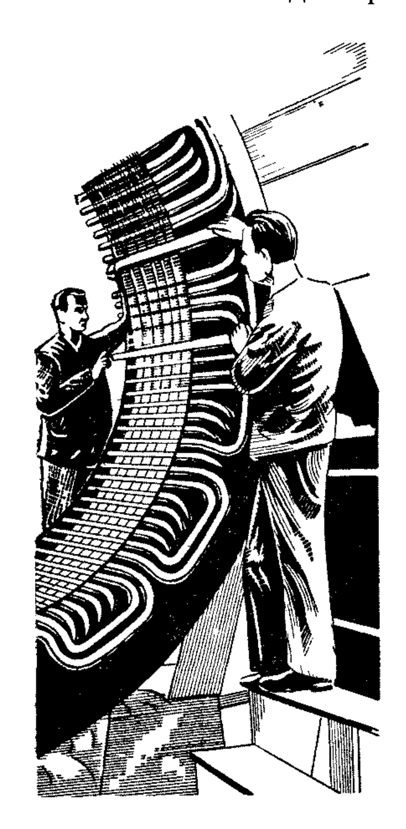


Рис. 5–1. Статор с однослойной обмоткой.

1. Катушки выполняются вручную на статоре впротяжку (рис. 5–4). В этом случае изолируется паз до протяжки катушек.
2. Катушки изготовляются на шаблоне и затем вкладываются в паз по одному проводнику через шлиц. Такие катушки называются всыпными. Паз в этом случае также изолируется до вкладки катушки.
3. Каждая катушка является составной из двух так называемых полукатушек, изготовляемых на шаблоне. Каждая полукатушка вкладывается в паз отдельно через шлиц. Как и при всыпных катушках, паз изолируется до вкладки катушек. Составная катушка показана на рис. 5–27.
4. На шаблоне изготовляются прямые части катушки и одна лобовая часть. Вторая лобовая часть остается прямой. После вкладки с торца обмотки в паз выступающие из паза концы отгибаются и соединяются между собой, образуя вторую лобовую часть. Такие катушки называются разрезными. Изоляция пазовых частей и одной лобовой части выполняется заранее. Вторая лобовая часть изолируется на статоре. Такие катушки и вкладка в пазы показаны на рис. 5–5. Катушки, выполняемые впротяжку, и разрезные применяются только в однослойных обмотках. Составные катушки применяются при двухслойных обмотках. Прочие виды катушек используются как при двухслойных обмотках, так и при однослойных.

Обмотки с всыпными и составными катушками применяются для напряжений не выше 500 *в*. При современных способах вполне надежная изоляция для высоких напряжений может быть получена только в тех случаях, когда она изготовляется вне паза или в виде отдельной гильзы или на самой катушке. При обмотках с всыпными и составными катушками этого сделать нельзя, так как изоляция паза должна быть открытой для возможности вкладывания катушек через шлиц паза. Закрепление обмоток в пазах производится посредством клиньев, так же как в якорях машин постоянного тока.

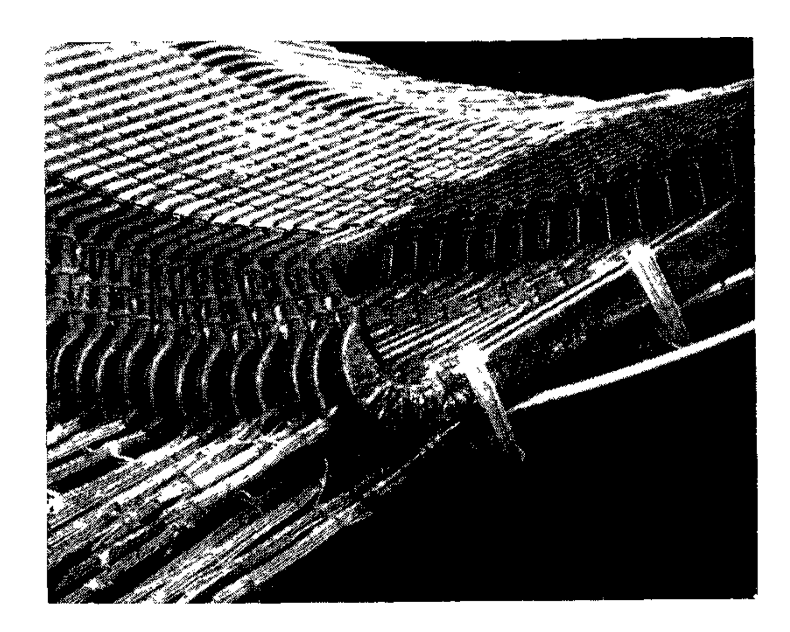


Рис. 5–2. Статор с двухслойной обмоткой.

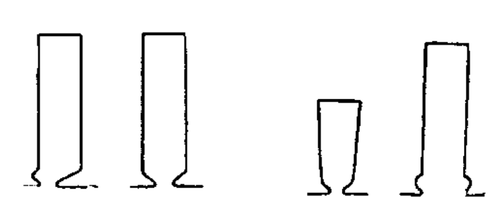


Рис. 5–3. Формы пазов статора.

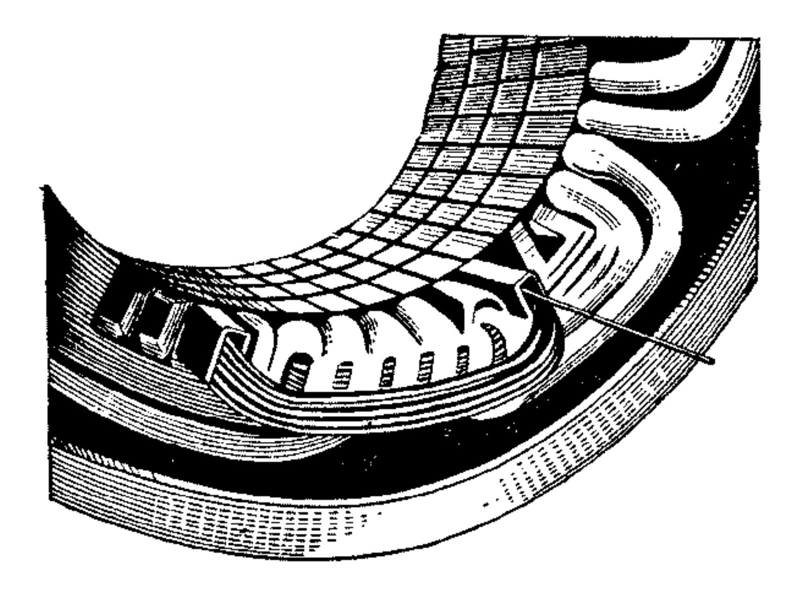




Рис. 5–4. Обмотка, выполняемая впротяжку.

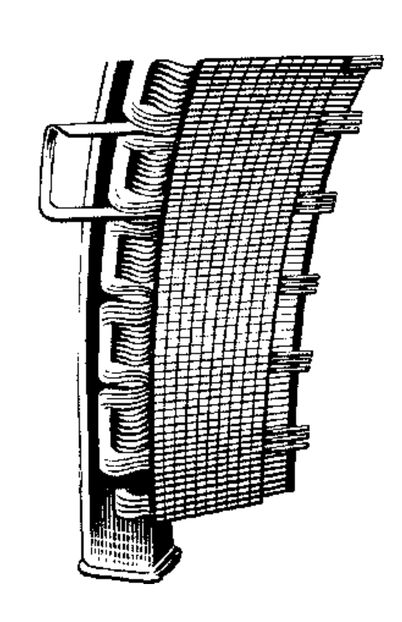


Рис. 5–5. Разрезная обмотка.

5–2. Катушки однослойной обмотки.

Как уже было сказано, однослойные обмотки имеют катушки разной формы. Для того чтобы уложить обмотку в пазы статорной стали, лобовые части катушек приходится располагать в два (рис. 5–6) или три ряда (рис. 5–7) по окружности. Необходимость расположения лобовых частей в разных рядах при однослойной обмотке наглядно видна из рис. 5–8. Как было указано выше, при однослойных обмотках отдельные катушки соединяются в так называемые катушечные группы. Число катушек в группе равно числу пазов на полюс и фазу. Лобовые части катушек одной группы имеют одинаковую форму, но разные размеры. Они располагаются в одном ряду.

5–3. Катушки двухслойной обмотки.

В отличие от катушек однослойной обмотки форма лобовых частей катушек двухслойной обмотки позволяет выполнять все катушки совершенно одинаковыми по форме и размерам. Как видно из рис. 5–9, стороны катушки располагаются в разных слоях. Переход из одного слоя в другой осуществляется выгибанием лобовой части в головке катушки. Полукатушки составных катушек отличаются друг от друга положением головки относительно средней линии катушки. Каждая из полукатушек изготовляется самостоятельно, и после укладки, в пазы они соединяются.

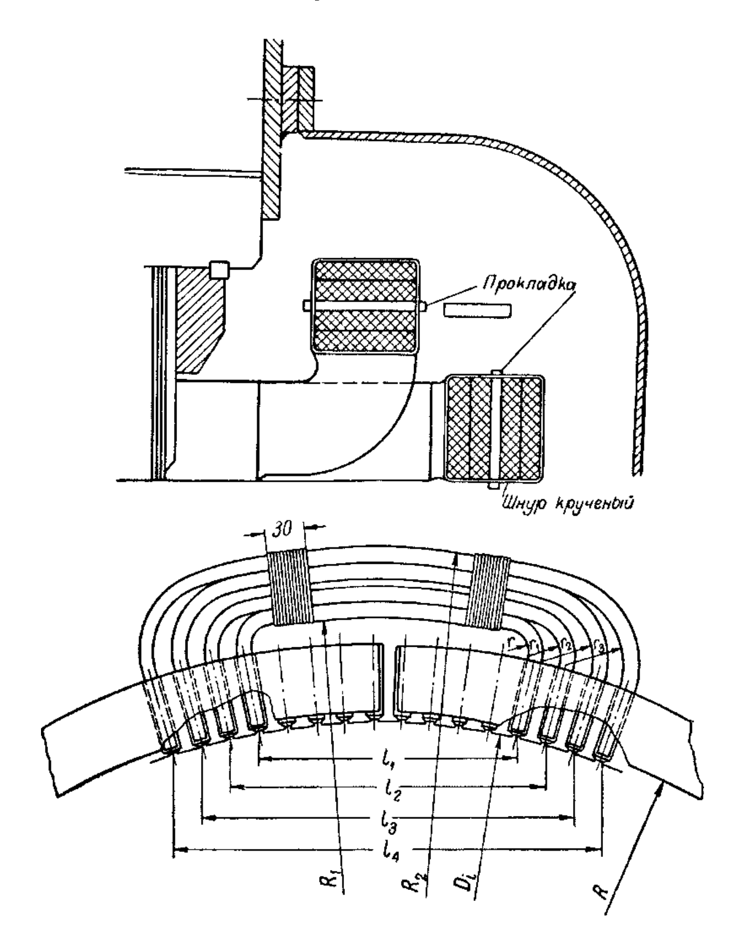


Рис. 5–6. Расположение лобовых частей в два ряда.

5–4. Изоляция катушек.

а. Изоляция катушек, выполняемых впротяжку.

При такого рода обмотке пазы статорной стали изолируют до протяжки витков катушки. В паз вставляют изоляционную гильзу, через которую и протягивают проводники катушки. Для напряжения до 500 *в* гильза может быть изготовлена из шести–семи слоев электрокартона толщиной 0,2 мм. При этом между слоями электрокартона закладывается один слой (в перекрой) лакоткани толщиной 0,3 мм. На рис. 5–10 показана изоляция для напряжения до 500 *в*. В высоковольтных машинах напряжением 3000 – 3150 *в* применяется твердопрессованная гильза из пяти–шести слоев микафолия толщиной 0,3 – 0,5 мм. Для предохранения гильзы от повреждения поверх микафолия накладывается один слой электрокартона толщиной 0,15 мм. (см. рис. 5–11). После намотки катушки лобовая часть изолируется при напряжении до 500 *в* одним слоем тафтяной ленты вполнахлеста (рис. 5–10), а при напряжениях 3000 – 3150 *в* – одним слоем лакированной ленты и поверх нее одним слоем тафтяной ленты, как показано на рис. 5–11.

В местах перехода от пазовой к лобовой части накладываются дополнительно один или два слоя такой же изоляции. Лобовые части каждой катушечной группы скрепляются тафтяной лентой или крепким (пеньковым) шнуром, причем между лобовыми частями каждых двух или трех катушек помещается электрокартонная прокладка толщиной около 5 мм. как показано на рис 5–6.

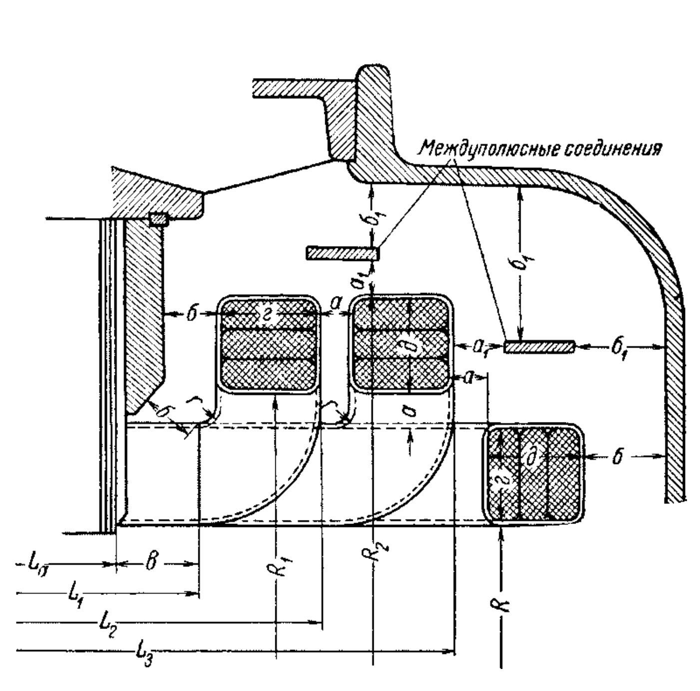


Рис. 5–7. Расположение лобовых частей в три ряда.

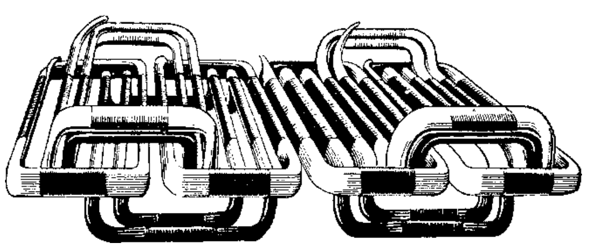


Рис. 5–8. Расположение лобовых частей однослойной обмотки.

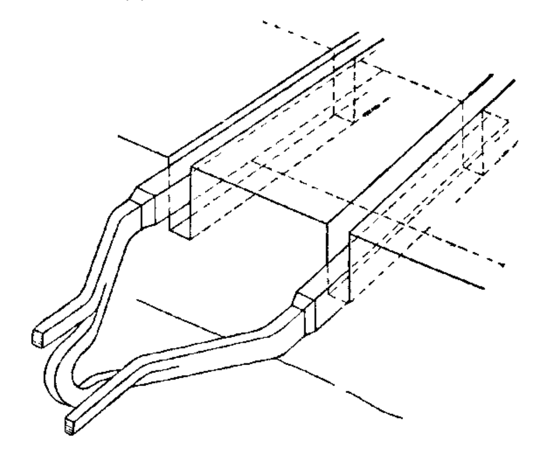


Рис. 5–9. Катушка двухслойной обмотки.



Рис. 5–10. Изоляция протяжной обмотки для напряжения 500 *в*.

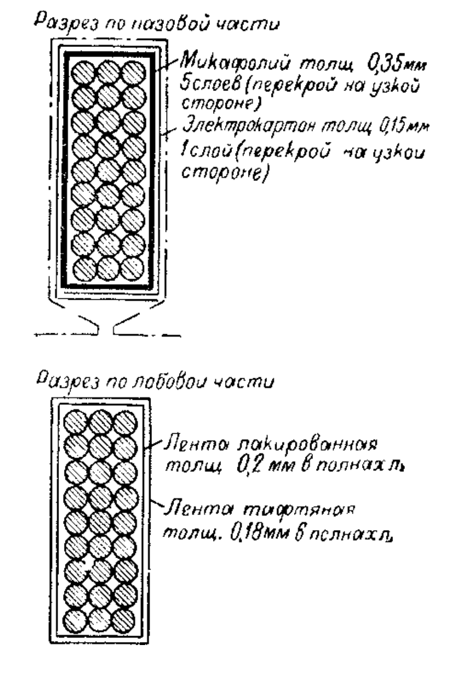


Рис. 5–11. Изоляция протяжной обмотки для напряжения 3000–3150 *в*.

б. Изоляция всыпной обмотки.

В этом случае пазы статорной стали тоже изолируются до вкладки обмотки. Изоляция паза (класса А) состоит из трех–четырех слоев пропитанного в льняном масле электрокартона толщиной 0,2 мм. или двух–трех слоев пропитанного электрокартона и одного–двух слоев лакоткани. При двухслойной обмотке между сторонами двух катушек в пазу помещается прокладка из пропитанного электрокартона. Лобовые части однослойной всыпной обмотки не изолируются. При двухслойной обмотке между лобовыми частями верхнего и нижнего слоев помещается прокладка из пропитанной в льняном масле ткани. Пазовая изоляция однослойной и двухслойной обмоток показана на рис. 5–12. Изоляция паза для машин с повышенной теплостойкостью состоит из гильзы, сформированной в горячем виде и опрессованной на металлическом стержне соответствующего профиля. Для напряжений до 500 *в* (рис. 5–13) гильза состоит из $1^1/_4$ слоя электрокартона толщиной 0,15 мм., покрытого бакелитовым или глифталебакелитовым лаком, и трех слоев микафолия толщиной 0,15 мм. или двух слоев микафолия толщиной 0,25 мм.

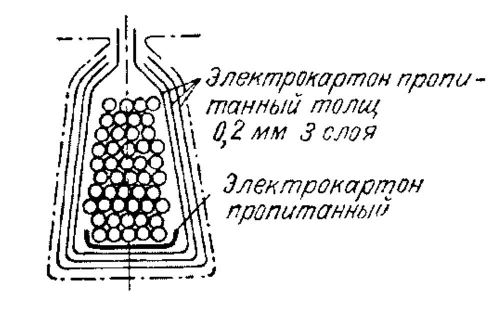




Рис. 5–12. Изоляция всыпной обмотки
однослойной и двухслойной.

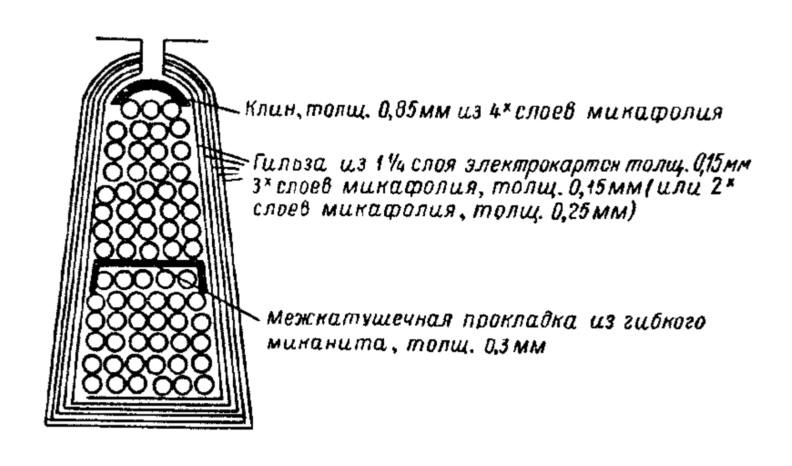


Рис. 5–13. Изоляция всыпной обмотки
с повышенной теплостойкостью.

Межкатушечная прокладка в пазу делается из гибкого миканита толщиной 0,3 мм. В пазу устанавливается клин толщиной 0,85 мм. из четырех слоев микафолия толщиной 0,25 мм., нагретого в специальной пресс–форме и опрессованного в ручном холодном прессе.

в. Изоляция обмоток для полуоткрытых пазов.

Пазовая изоляция этого рода обмотки аналогична изоляции всыпной обмотки и состоит из двух слоев пропитанного электрокартона и одного–двух слоев лакоткани. Отдельные полукатушки обматывают для скрепления одним слоем миткалевой ленты накладываемой впритык. Между полукатушками одного слоя и между верхним и нижним слоями кладутся прокладки из электрокартона толщиной 0,2–0,5 мм. Разрез паза с изоляцией показан на рис. 5–14. В лобовой части, за исключением скрепляющей миткалевой ленты, никакой изоляции не применяют.

При другом исполнении отдельные полукатушки в пазовой части обматываются в $1^{1}/_{4}$ слоя телефонной лакированной бумагой толщиной 0,1 мм. и обутюживаются. При этом в пазовой части отпадает необходимость в прокладке между полукатушками и в скреплении витков в полукатушки миткалевой лентой. В лобовой части полукатушки обматываются бумажной лентой толщиной 0,15 мм. одним слоем вполнахлеста. Это исполнение показано на рис. 5–15.



Рис. 5–14. Изоляция обмоток для полуоткрытых пазов.

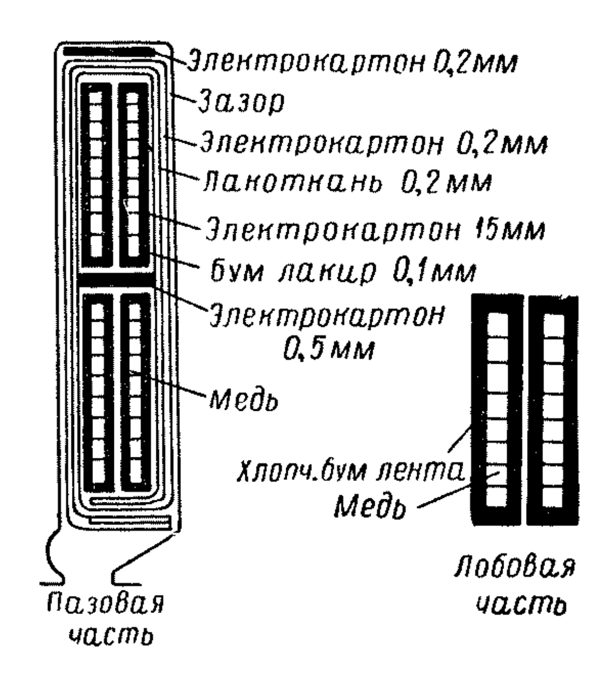


Рис. 5–15. Другое исполнение изоляции обмоток для полуоткрытых пазов.

г. Изоляция обмоток для открытых пазов.

Форма паза позволяет в этом случае укладывать катушки в паз в изолированном виде.

Изоляция для напряжений до 500 *в*.

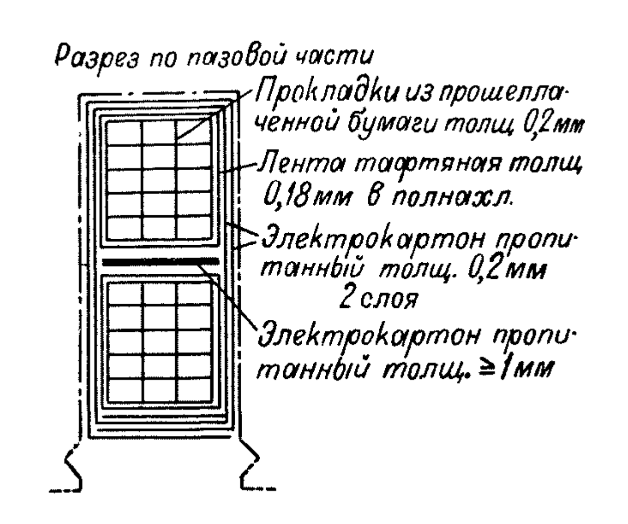


Рис. 5–16. Изоляция двухслойной обмотки для напряжения до 500 *в*.

До укладки обмотки в пазы закладывается гильза из двух–трех слоев пропитанного электрокартона толщиной 0,2–0,3 мм. или из одного–двух слоев электрокартона и одного слоя лакированной ткани. Сама катушка до укладки изолируется в пазовой части одним слоем тафтяной ленты в полнахлеста, а в лобовой части – в три четверти нахлеста. Между отдельными витками катушки, расположенными в одном ряду (вертикальном – при продольной укладке или горизонтальном – при поперечной укладке), никакой добавочной изоляции, кроме собственной изоляции проводников, не требуется. Между рядами витков прокладывается бакелизированная бумага. На рис. 5–16 показана изоляция двухслойной обмотки для напряжения до 500 *в*. Как видно из рисунка, между сторонами катушек кладется прокладка из пропитанного электрокартона толщиной 1–2 мм. Выводные концы катушек изолируются обыкновенной лакированной лентой и поверх нее тафтяной лентой вполнахлеста.

При описанном способе изолировки не используют возможностей, которые дает открытый паз, так как здесь пазовая изоляция, уложенная отдельно от катушки, не может быть легко проверена, и повреждения ее в процессе укладки катушки могут оставаться незамеченными; поэтому укладка обмотки здесь требует большого внимания и навыка. Более надежная и простая в изготовлении изоляция обмотки достигается при наложении ее целиком на катушку до укладки в паз. Катушка в прямой (пазовой) своей части изолируется двумя слоями синтоленты толщиной 0,2 мм. и двумя слоями хлопчатобумажной ленты (рис. 5–17, *а*).

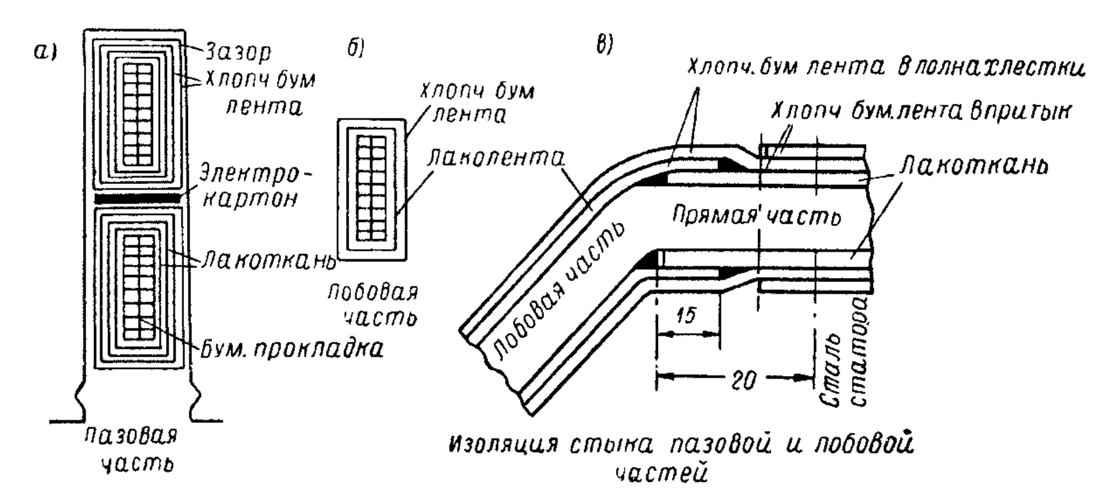


Рис. 5–17. Другое исполнение изоляции двухслойной обмотки для напряжения до 500 *в*.

После наложения первого слоя ленты катушку подвергают четырехкратной пропитке, а после наложения второго слоя – дополнительно двукратной пропитке. Лобовую часть изолируют одним слоем микаленты или синтоленты вполнахлеста и одним слоем хлопчатобумажной ленты вполнахлеста (см. рис. 5–17, *б*). Стык изоляции пазовой и лобовой частей выполняется таким образом, что слой изоляции перекрывают друг друга, как показано на рис. 5–17, *в*.

Изоляция для напряжений выше 500 *в*.

Здесь применяют два совершенно различных вида изоляции – гильзовую и непрерывную. Первую применяют как при однослойной, так и при двухслойной обмотках, вторую – только при двухслойной. Оба вида изоляции выполняются полностью на катушках до укладки их в паз, причем сам паз при этом не изолируется.

Гильзовая изоляция. При гильзовой изоляции пазовая часть и лобовая изолируются различно. В пазовой части изоляция представляет собой гильзу, состоящую из нескольких слоев спрессованного микафолия или синтофолия. До наложения гильзы катушки, независимо от напряжения, компаундируются. Толщина гильзы, а следовательно, и число слоев микафолия зависят от напряжения машины. При напряжении до 3150 *в* включительно гильза состоит из пяти слоев микафолия толщиной 0,25 мм.; при напряжении до 6300 *в* включительно – из девяти слоев. Поверх микафолия для его предохранения от механических повреждений накладывается один слой электрокартона толщиной 0,15 мм. Таким образом, общая односторонняя толщина гильзы при 3150 *в* равна 1,5 мм., а при 6300 *в* – 2,5 мм. Изоляция между витками катушки выполняется из миканита или микаленты. При напряжениях до 3150 *в* изоляция прокладывается между рядами витков, а при напряжениях до 6300 *в* изолируется каждый виток отдельно. Толщина междувитковой изоляции и в том и в другом случае берется около 0,2 мм. На рис. 5–18 показаны разрезы пазов с гильзовой изоляцией. Между сторонами катушек при двухслойной обмотке делается прокладка из электрокартона толщиной 1–2 мм.

В лобовой части изоляция состоит из нескольких слоев лакированной ленты толщиной 0,2 мм. и одного слоя тафтяной ленты вполнахлеста. Лакированная лента накладывается для напряжений до 3150 *в* в три слоя, а для напряжений до 6300 *в* в пять слоев. Изоляция между рядами витков в лобовой части при напряжениях 3150 – 6300 *в* делается обычно такой же толщины, как и в пазовой, но вместо миканитовых прокладок витки через один обматываются одним рядом микаленты толщиной 0,18 мм. вполнахлеста. При напряжениях до 3150 *в* ряды витков через один изолируются одним рядом миткалевой ленты вполнахлеста. Весьма ответственным местом при гильзовой изоляции является стык пазовой и лобовой изоляции катушек. Как показал многолетний опыт, этот переход является самым слабым местом, при заводских испытаниях и при эксплуатации, именно здесь наиболее часто происходит пробой. Поэтому конструкция этого стыка подвергалась многократным усовершенствованиям.

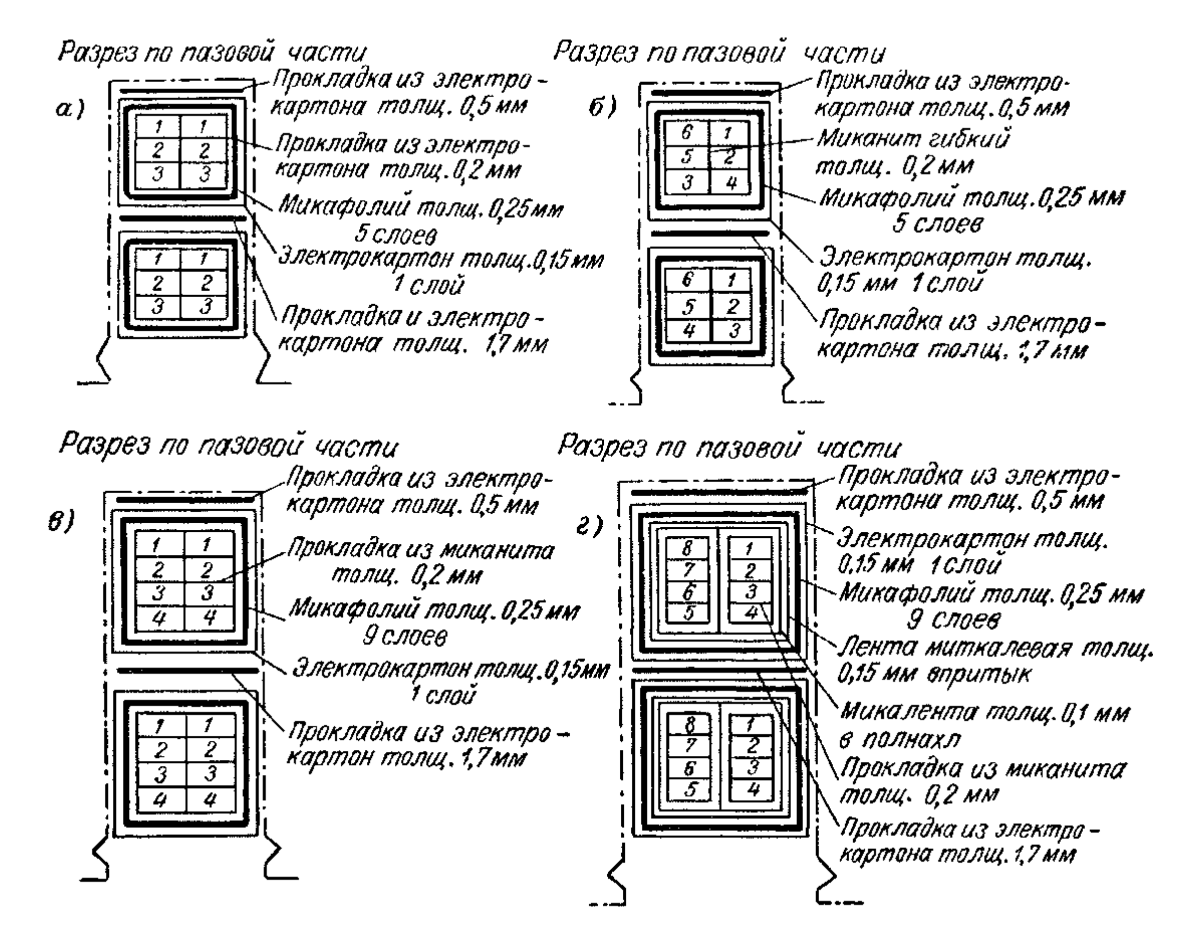


Рис. 5–18. Гильзовая изоляция:
а – для напряжений 3000–3150 *в*, один виток по ширине катушки;
б – для напряжений 3000–3150 *в*, два витка по ширине катушки;
в – для напряжений 6000–6300 *в*, один виток по ширине катушки;
г – для напряжений 6000–6300 *в*, два витка по ширине катушки.

Наиболее надежным способом выполнения перехода от пазовой к лобовой изоляции является изолирование его несколькими слоями микаленты толщиной 0,13 мм. до наложения микафолиевой гильзы. Сопряжение слоев микаленты с изоляцией пазовой и лобовой частей показано на рис. 5–19. Переход от пазовой к лобовой части выполняется постепенно. Наиболее ответственным является переход к пазовой части, так как она расположена ближе к стали статора. Здесь наиболее вероятен электрический разряд между обмоткой и корпусом. Возможный путь разряда обозначен на рис. 5–19 буквами A, B, C. Для того чтобы удлинить этот путь, стык изоляции делается на конус таким образом, что ряды переходной изоляции по мере их наложения на катушку удалялись от стали статора. То же самое относится к переходу и в лобовой части.

Такое выполнение стыка получило название обратного конуса (в отличие от прежде применявшегося так называемого "прямого конуса" имевшего противоположное направление, что давало более короткий путь для электрического разряда). Переходная часть изоляции, так же как и лобовая часть, обматывается тафтяной лентой вполнахлеста. Количество слоев микаленты в переходной части для напряжений до 3150 *в* равно трем, а для напряжений до 6300 *в* – пяти. Выводы катушек изолируются лакированной лентой от двух до четырех слоев, в зависимости от напряжения, и поверх нее обматываются тафтяной лентой. Хотя гильзовая изоляция может быть выполнена весьма надежно, она не свободна от целого ряда недостатков, из которых основным является соединение в ней изоляции класса В и класса А. К классу В принадлежит пазовая изоляция (микафолий), к классу А – лобовая изоляция (лакоткань). Благодаря этому вся изоляция, несмотря на применение в наиболее ответственной ее части микафолия, должна быть отнесена к классу А, и, следовательно, температура обмотки не может превышать 105°С. Иными словами, преимущества слюдяной гильзы в отношении ее теплостойкости не могут быть использованы полностью. Другим недостатком гильзовой изоляции является сложность выполнения перехода, от пазовой к лобовой части, что, во–первых, удорожает обмотку, а, во–вторых, при недостаточно тщательном выполнении, может вызвать пробой. Кроме того, микафолиевая гильза подвержена разбуханию с течением времени (а также при нагревании), что сильно затрудняет ремонт обмотки. Ввиду трудности изъятия катушки из паза изоляция ее легко может быть повреждена. Этот недостаток в особенности сказывается в двухслойных обмотках, где при необходимости извлечения одной катушки приходится поднимать все катушки, лежащие в пределах целого шага. Однако вредность разбухания заключается не только в этом. При разбухании происходит расслоение гильзы, между слоями микафолия образуются зазоры, в которые проникает воздух. Такие воздушные прослойки сильно сокращают срок службы изоляции. К числу недостатков гильзовой изоляции следует отнести ее жесткость и хрупкость в холодном состоянии. Поэтому даже при небольших деформациях, неизбежных при укладке катушек, изоляция их легко ломается. Предварительное прогревание перед укладкой здесь не может быть применено, ибо гильза при этом разбухает. Лакированная лента, используемая в изоляции лобовой части, с течением времени становится хрупкой и легко ломается, что также является отрицательным свойством описанной изоляции.

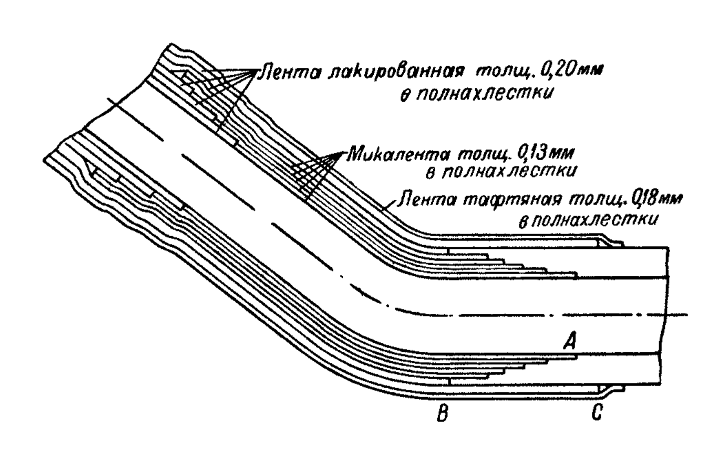


Рис. 5–19. Изоляция перехода от пазовой к лобовой части обмотки.

Непрерывная изоляция. Сущность ее заключается в том, что как пазовая, так и лобовая части изолируются одними материалами, причем переход от пазовой к лобовой части производится постепенно. По этому способу изолировка катушки производится путем обертывания ее изоляционной лентой как в пазовой, так и в лобовой части, причем, как правило, разница заключается в том, что в лобовой части ленты накладывается на один слой меньше, чем в пазовой. Непрерывная изоляция применяется при двухслойных обмотках и может быть выполнена по классу А или классу В. Обыкновенно изоляция класса В применяется в крупных ответственных машинах или при напряжениях свыше 3150 *в*. Для напряжений до 3150 *в*, а также для машин небольших мощностей для напряжений до 6300 *в* может применяться непрерывная изоляция класса А.

Ввиду того, что непрерывная изоляция класса А имеет незначительное применение в СССР, мы ограничимся только ее общей характеристикой.

Непрерывная изоляция класса А. Катушки по всей длине изолируются несколькими слоями черной лакированной ленты вполнахлеста. Поверх этой изоляции катушка обматывается одним слоем тафтяной или миткалевой ленты в пазовой части впритык, а в лобовой – вполнахлеста. Часть слоев черной ленты иногда заменяют соответствующим числом слоев светлой лакированной ленты. При применении непрерывной изоляции для напряжений до 500 *в* общая толщина в пазовой части – от 1,15 до 1,5 мм. для напряжения от 600 до 3000 *в* – около 2 мм. при напряжениях до 6300 *в* – от 3 до 3,5 мм. В лобовой части толщина изоляции меньше на толщину одного слоя ленты. До наложения хлопчатобумажной ленты катушки несколько раз пропитываются асфальтовым лаком. До наложения хлопчатобумажной ленты катушки несколько раз пропитываются асфальтовым лаком. Между витками, в зависимости от междувиткового напряжения, ограничиваются либо собственной изоляцией проводников (ПБД), либо, при более высоких напряжениях, бывает необходимо дополнительно накладывать хлопчатобумажную ленту или микаленту. Этот вид изоляции требует применения так называемого компаундирования. Сущность этого процесса заключается в том, что катушка с наложенными слоями микаленты подвергается сушке под вакуумом в специальном котле. При этом происходит удаление летучих частей лака, на котором изготовляется микалента. Затем котел заполняется компаундной массой, которая под давлением заполняет все пустоты между слоями микаленты. Такой процесс делает изоляцию весьма надежной и стойкой для длительной работы при высоких напряжениях.

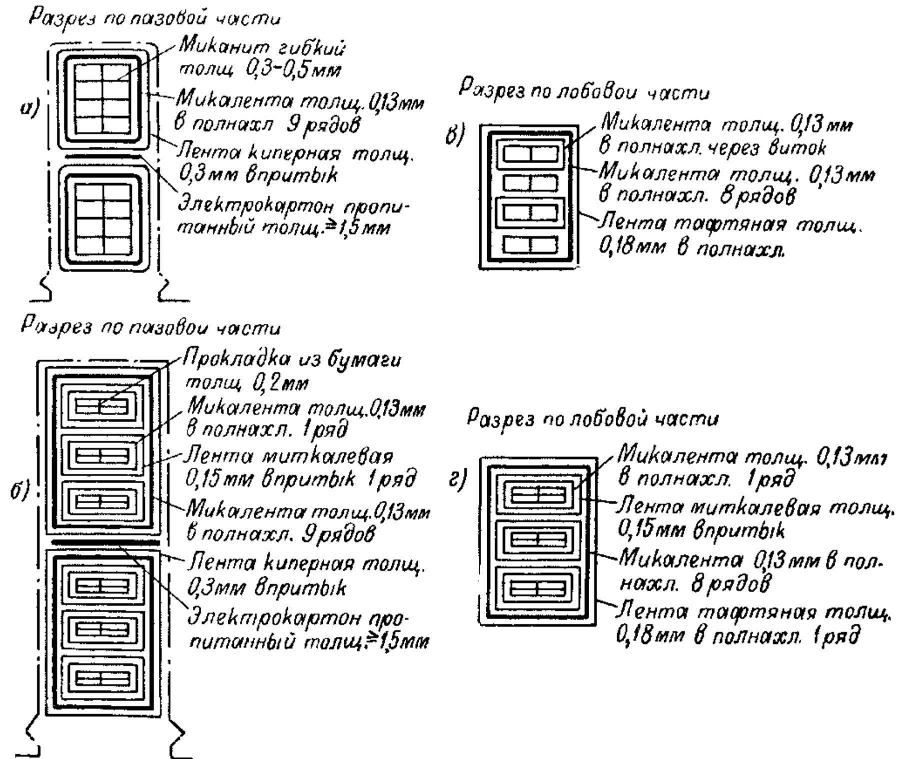


Рис. 5–20. Непрерывная изоляция класса В для напряжений 6000–6300 *в*.

Непрерывная изоляция класса В. Общая изоляция катушки состоит из нескольких слоев микаленты толщиной 0,17 или 0,13 мм. вполнахлеста по всей катушке. Поверх нее пазовая часть обматывается киперной лентой толщиной 0,3 мм. впритык; лобовая часть и выводы – одним слоем тафтяной ленты вполнахлеста. При напряжениях до 3150 *в* пазовая часть обматывается пятью слоями микаленты, лобовая часть – четырьмя слоями, а выводные концы – тремя слоями. При напряжениях до 6300 *в* в пазовой части – девять слоев микаленты, в лобовой – восемь слоев, а на выводах пять слоев.

Изоляция между витками выполняется двумя способами. По первому способу между витками в пазовой части кладутся миканитовые прокладки толщиной от 0,2 до 0,3 мм. и в лобовой части витки через один изолируются одним слоем микаленты вполнахлеста. По второму способу в пазовой части каждый виток изолируется одним слоем микаленты вполнахлеста. Между вертикальными рядами проводников ставятся прокладки из промазанной лаком бумаги толщиной 0,2 мм. Назначение этих прокладок – скреплять (склеивать) проводники между собой. Изоляция витков лобовой части такая же, как и в пазовой, за исключением прокладок из бумаги, которые здесь отсутствуют. На рис. 5–20 показана непрерывная изоляция для напряжения 6300 *в*. Особо остановимся на собственной изоляции проводников катушек с непрерывной изоляцией класса В. Требованиям теплостойкости здесь в полной мере отвечает так называемая стеклянная изоляция, которой покрываются проводники при изготовлении катушек для наиболее мощных машин. Стоимость такой обмотки относительно велика.

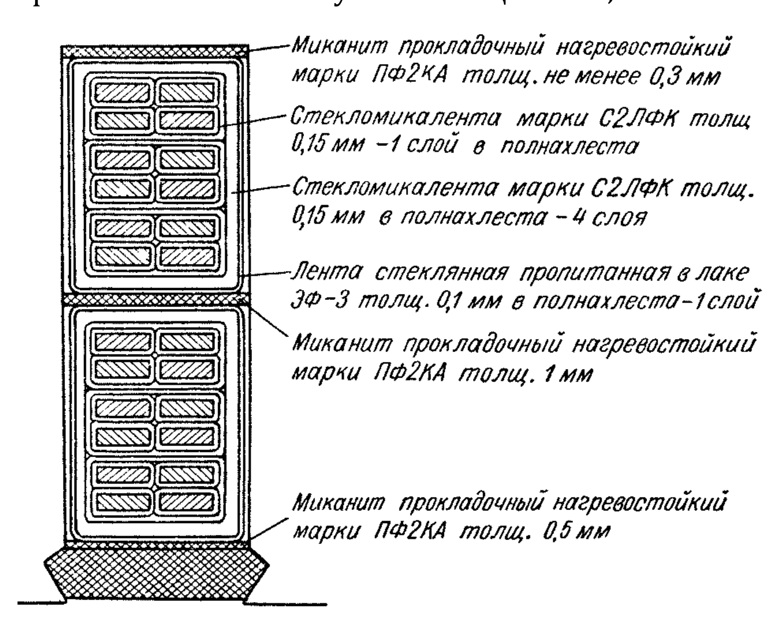


Рис. 5–21. Изоляция кремнийорганическая класса Н на напряжение до 525 *в*.

Непрерывная изоляция на кремнийорганических лаках класса Н. В тех случаях, когда использование активных частей статора приводит к повышенным нагревам, применяют изоляцию из препаратов слюды и стекла на кремнийорганических лаках. Обмотки выполняются из провода с собственной стеклянной изоляцией марки ПСДК. Допустимая температура нагрева в наиболее горячей точке 180°С. В настоящее время такая изоляция применяется для напряжения до 525 *в*. На рис. 5–21 показано сечение паза с многовитковой катушечной обмоткой с изоляцией на кремнийорганических лаках. В лобовой части число слоев стекломикаленты берется на один меньше, чем в пазовой части, т. е. 3 слоя.

5–5. Определение размеров катушек однослойных обмоток.

В однослойных обмотках определение размеров катушки является несложной задачей. Здесь важно правильно выбрать расстояние между лобовыми частями отдельных катушек и расстояния от катушек до корпуса статора, щитов и других металлических частей, окружающих лобовую часть катушки. Эти расстояния зависят от напряжения машины. На рис. 5–6 и 5–7 показана лобовая часть катушки. Буквами обозначены расстояния, как между катушками, так и от катушек до корпуса машины. Кроме того, указано расположение междуполюсных соединений, которые могут быть как сверху катушек, так и сбоку, в зависимости от того, где больше свободного пространства и где наиболее удобно располагать эти соединения. Здесь же указаны расстояния от этих соединений до катушек обмотки и до корпуса машины.

Таблица 5–1

Рабочее напряжение машины, *в*.	Размеры, мм.					
	а	*б*	*в*	$а_1$	$б_1$	*r*
до 500	15	15	15		5	
до 3150	20	30	45	5	5	10 – 20
до 6300	30	40	60		10	

Буквами *г* и *д* обозначены размеры сечения катушечных групп в лобовой части, L_1, L_2, L_3 – длины прямых частей отдельных катушек, l_1, l_2, l_3, l_4 – расстояния между катушечными сторонами каждой катушки. На рис. 5 6 взяты четыре катушки в катушечной группе, что соответствует числу пазов на полюс и фазу $q = 4$. Буквами r и R обозначены радиусы изгиба катушечных групп в лобовой части. В таблице 5–1 даны минимально допустимые расстояния (см. рис. 5–7), которые необходимо выдержать в зависимости от напряжения машины. Все размеры, указанные в таблице, считаются между неизолированной медью катушек и соединений и металлическими частями корпуса машины. При промежуточных напряжениях эти расстояния можно брать несколько меньше верхнего предела в соответствии с напряжением машины. Если при размере *в*, взятом по таблице, размер *б* окажется меньше указанного в таблице, то размер *в* должен быть соответственно увеличен.

5–6. Определение размеров поперечного сечения катушки.

Эти размеры по ширине и высоте катушек определяются суммированием размеров меди и изоляции. В лобовой части необходимо учитывать разбухание при пропитке. Увеличение размеров поперечного сечения после пропитки может быть определено по тем же формулам, что и для якорей машины постоянного тока.

Определение ширины катушки.

Ширина катушки, или расстояние между двумя катушечными сторонами при однослойных обмотках различна для различных катушек одной и той же катушечной группы. Она определяется как длина хорды, заключенной между двумя сторонами катушки, по следующей формуле:

$$l = 2 \times Rsin \times \frac{(180 \times 2q + 2n - 1)}{Z} \quad (5-1)$$

где R – внутренний радиус катушек без изоляции; q – число пазов на полюс и фазу; n – порядковый номер катушки в группе, если считать внутреннюю катушку первой по порядку; Z – число пазов статора.

Определение длины прямой части катушки.

В зависимости от расположения лобовых частей все катушки могут быть по длине прямой части разбиты на две или на три группы. При расположении лобовых частей в двух рядах, как показано на рис. 5–6, имеются катушки двух различных длин прямой части. При расположении лобовых частей, согласно рис. 5–7, имеются три различные длины прямой части катушек:

$$\text{длина прямой части внутреннего ряда } L_1 = La + 2\text{в} \quad (5-2)$$

$$\text{длина прямой части среднего ряда } L_2 = L_1 + 2 \times (r + g) \quad (5-3)$$

$$\text{длина прямой части наружного ряда } L_3 = L_2 + 2 \times (r + a) \quad (5-4)$$

Определение размеров лобовой части катушки. После того как длина прямой части катушки определена и выбраны радиусы закругления по табл. 5–1 остается определить радиусы, по которым изгибается лобовая часть катушечной группы, как показано на рис. 5–7:

$$R_1 = R + r + \text{а} \quad (5-5)$$
$$R_2 = R_1 + \text{д} \quad (5-6)$$

Когда число пазов на полюс и фазу больше трех, тогда из соображений лучшего охлаждения лобовых частей, их разделяют между собой дистанционными прокладками из электрокартона толщиной 5 мм. как показано на рис. 5–6. Так же прокладки ставятся между каждой катушкой при напряжениях 6000 *в* и выше. В этом случае (рис. 5–6):

$$R_2 = R_1 + д + 5 \times y \quad (5-7)$$

где y – число прокладок. Радиусы r_1, r_2, r_3 (рис. 5–6) берутся больше r для получения плавного закругления.

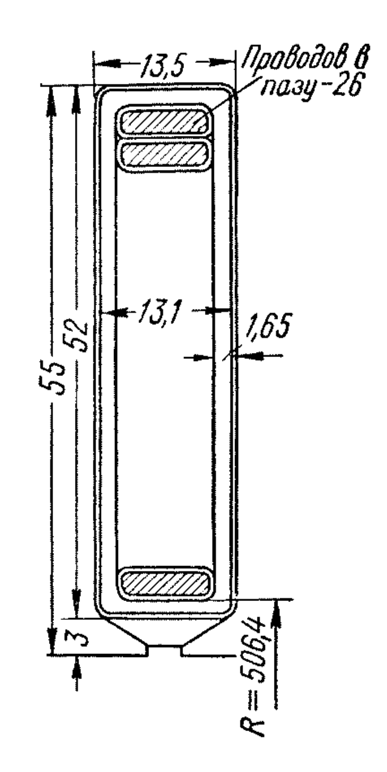


Рис. 5–22. Поперечное сечение катушки в пазовой части.

5–7. Пример определения размеров катушек однослойной обмотки.

Данные обмотки:
Число пазов $Z = 144$.
Число пазов на полюс и фазу $q = 4$
Число проводников в пазу 26
Размеры паза 13,5×52/55 (рис. 5–22)
Размеры изолированного проводника 9,8×1,85 мм.
Внутренний диаметр статора $D_1 = 1003{,}5$ мм.
Напряжение 3000 *в*.
Ширина стали статора $la = 400$ мм.
Обмотка выполняется впротяжку.

Определение размеров поперечного сечения катушки в пазовой части.

Размер по ширине.

Ширина меди 9,8 мм. Толщина гильзы (5 слоев микафолия толщиной 0,3 мм. и один слой лакоткани толщиной 0,15 мм) 2×5×0,3 + 2×0,15 = 3,3 мм. Полная ширина 13,1 мм.

Размер по высоте.

Высота меди 26×1,85 = 48,1 мм. Толщина гильзы 3,3 мм. Полная высота 51,4 мм.

Определение размеров поперечного сечения катушки в лобовой части.

В лобовой части следует определить размеры поперечного сечения катушечной группы. При числе пазов на полюс и фазу $q = 4$ катушечная группа состоит из четырех катушек. Между двумя катушками кладем прокладку из электрокартона толщиной 5 мм. Размер поперечного сечения катушечной группы по ширине (размер *д*) складывается из ширины четырех катушек плюс толщина прокладок 5 мм.

Ширина каждой катушки.

Ширина меди 9,8 мм. Толщина лакированной ленты (1 слой толщиной 0,2 мм. вполнахлеста) 0,2×2×2 = 0,8 м. Толщина тафтяной ленты (1 слой толщиной 0,18 мм. вполнахлеста) 0,18×2×2 = 0,72 м. Разбухание от пропитки 0,05×1 + 0,2 = 0,25 м. Полная ширина катушки 11,57 ≈ 11,6 м.

Ширина катушечной группы.

∂ = 4×11,6 + 5 = 51,4 ≈ 52 мм. Размер катушечной группы по высоте (рис. 5–6) равен высоте одной катушки. Размер меди 26×1,85 = 48,1 мм. Толщина лакированной ленты 0,8 мм. Толщина тафтяной ленты 0,72 мм. Разбухание от пропитки 0,05×26 =1,3 мм.

Полная высота катушечной группы.

г = 50,92 ≈ 51 мм.

Определение расстояния между сторонами катушки.

Первая (внутренняя) катушка по формуле (5–1):

$$l = 2 \times Rsin \times \frac{(180 \times 2q + 2n - 1)}{Z}$$

$$R = \frac{D\text{г}}{2} + 3 + 1{,}65 = \frac{1003{,}5}{2} + 3 + 1{,}65 = 506{,}4 \text{ мм.}$$

$$l_1 = 2 \times 506{,}4sin \times \frac{180 \times 2 \times 4 + 2 \times 1 - 1}{144} = 2 \times 506{,}4sin11°15' = 2 \times 506{,}4 \times 0{,}195 = \\ = 198 \text{ мм.}$$

Вторая катушка:

$$l_2 = 2 \times 506{,}4sin \times \frac{180 \times 2 \times 4 + 2 \times 1 - 1}{144} = 2 \times 506{,}4sin13°15' = 2 \times 506{,}4 \times 0{,}238 = \\ = 241 \text{ мм.}$$

Третья катушка:

$$l_3 = 2 \times 506{,}4sin \times \frac{180 \times 2 \times 4 + 2 \times 1 - 1}{144} = 2 \times 506{,}4sin16°15' = 2 \times 506{,}4 \times 0{,}280 = \\ = 284 \text{ мм.}$$

Четвертая катушка:

$$l_4 = 2 \times 506{,}4sin \times \frac{180 \times 2 \times 4 + 2 \times 1 - 1}{144} = 2 \times 506{,}4sin18°45' = 2 \times 506{,}4 \times 0{,}321 = \\ = 325 \text{ мм.}$$

Определение длины прямой части катушки.

Длина прямой части внутренних катушек по формуле (5–2):

$$L_1 = la + 2\text{в} = 400 + 2 \times 45 = 490 \text{ мм.}$$

где размер *в* взят по табл. 5–1 для напряжения 3000 *в*. По формуле (5–3):

$$L_2 = L_1 + 2 \times (r + \text{г}) = 490 + 2 \times (15 + 51) = 622 \text{ мм.}$$

размер *r* взят по табл. 5–1.

Определение радиусов выгиба любой части катушечной группы.

По формуле (5–5): $R_1 = R + r + a$ = 506,4 + 51 + 20 = 577,4 ≈ 580 мм.
По формуле (5–7): $R_2 = R_1 + \partial + 5$ = 580 + 52 + 5 = 637 ≈ 640 мм.
Радиусы закругления лобовых частей катушек: r = 15; r_1 = 30; r_2 = 45; r_3 = 60 мм.

5–8. Определение размеров катушек двухслойных обмоток.

Размеры поперечного сечения катушек определяются так же, как было изложено выше. При компаундированных катушках разбухание в лобовой части можно учитывать на основании практики, принимая одностороннюю толщину изоляции в 1,3 раза больше номинальной. Длина прямой части катушки по формуле (5–2): $L_1 = La + 2в$, где La – ширина стали статора, $в$ берется из табл. 5–2. Расстояние между катушечными сторонами определяется по формуле:

$$l = \frac{\pi \times (R_1 + R_2)}{Z} \times yz \quad (5-8)$$

где R_1 и R_2 показаны на рис. 5–23 и считаются по меди; yz – шаг обмотки по пазам; Z – число пазов статора. Угол наклона лобовой части а, так же как в катушках якорей постоянного тока (см. рис. 4–20), зависит от расстояний между лобовыми частями двух соседних катушек x. Величина x выбирается в зависимости от напряжения и высоты катушки в лобовой части (см. табл. 5–3).

Таблица 5–2

Напряжение машины, *в*	*в*, мм
до 500	20 – 25
до 3000 – 3150	35 – 40
до 6000 – 6300	50 – 55

Таблица 5–3

Напряжение машины, *в*	*x*, мм. Высота катушки, мм	
	до 50	свыше 50
до 500	4,5	4,5
до 3000 – 3150	4,5	4,5
до 6000 – 6300	5,0	6,5

Угол α определяется по формуле:

$$\alpha = \frac{x + s}{Z} \quad (5-9)$$

где s – ширина катушки в лобовой части с учетом разбухания; t – пазовое деление:

$$t = \frac{2 \times \pi \times R}{Z}$$

Определив sinα, находим по таблицам тригонометрических величин угол α и округляем его значение в сторону увеличения до целого числа градусов.

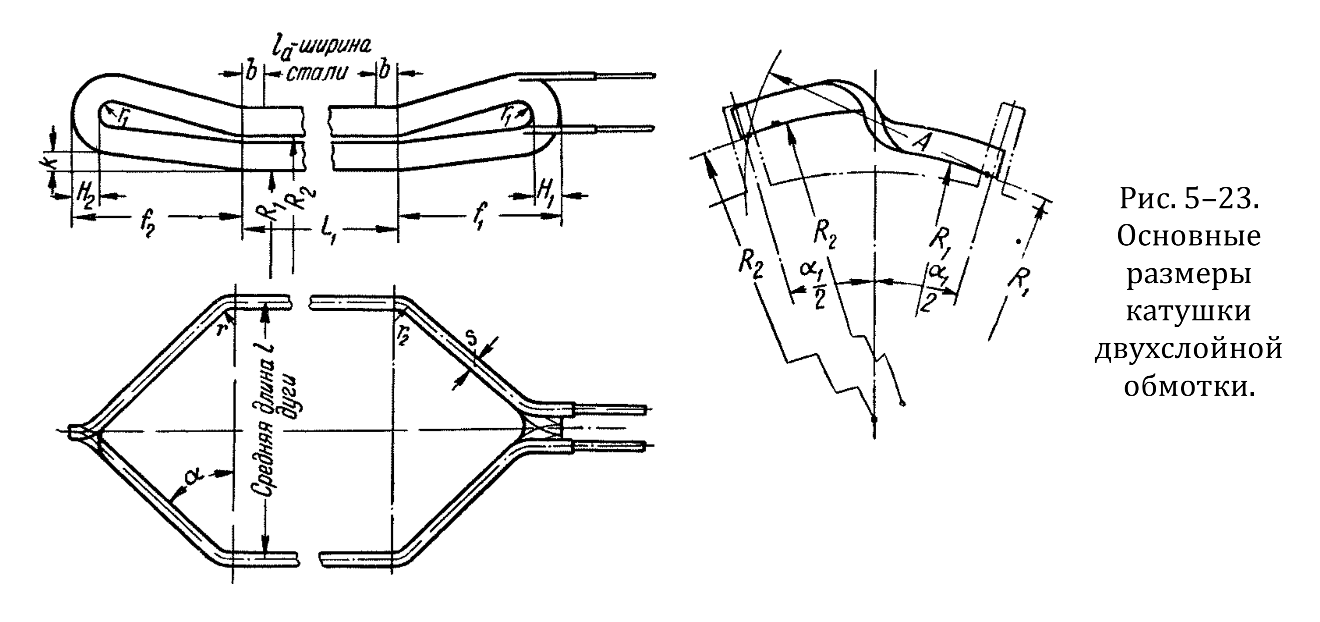


Рис. 5–23. Основные размеры катушки двухслойной обмотки.

Величина вылета лобовой части $f_{1,2}$ определяется по формуле:

$$f_{1,2} = \left[r_2 \times \left(\frac{1}{sin\alpha} - 1\right) + \frac{l}{2}\right] tg\alpha + H_{1,2} \quad (5-10)$$

где f_1 – вылет со стороны выводов катушки; f_2 – вылет со стороны, противоположной выводам; r_2 – радиус закругления при переходе от прямой части катушки к лобовой части по оси:

$$r_2 = r + \frac{s}{2}$$

r – радиус закругления по меди. Для катушек, не имеющих изоляции из микаленты в лобовой части r = 25 мм. Для катушек с изоляцией в лобовой части из микаленты r = 50 мм.; H_1 – высота неизолированной катушки со стороны выводов; H_2 – то же, с противоположной стороны. Внутренний радиус головки r_1 выбирается в зависимости от напряжения по табл. 5–4. Для того чтобы закончить определение формы и размеров катушки, необходимо определить величину, на которую отгибается лобовая часть по направлению от оси машины, как показано на рис. 5–23, *а*. Этот отгиб делается для предохранения лобовой части обмотки от повреждения при сборке или разборке машины, когда ротор заводится в статор. Обычно лобовая часть отгибается на угол β, равный 6–8°. Тогда размер K определяется по формуле:

$$K = (f_2 - H_2 - r_1) \times tg\beta \quad (5-11)$$

Средняя длина витка:

$$l\text{ср} = 2 \times L_1 + 2 \times K_{1C} + 2 \times K_2 \times \left(Z_1 + \frac{H_1}{2}\right) + \pi \times \left(Z_1 + \frac{H_2}{2}\right) \quad (5-12)$$

где K_1 и K_2 определяются по табл. 5–5.

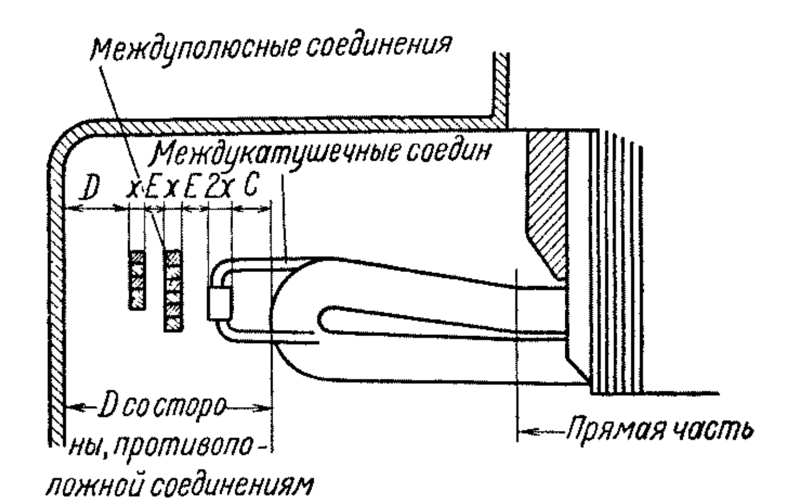


Рис. 5–24. Изоляционные расстояния при двухслойной обмотке.

При установке станка для растяжения катушки необходимо определить размер А, указанный на рис. 5–23, *б*:

$$A = \sqrt{R_2^2 + R_2^2 - 2 \times R_1 \times R_2 \times \cos(\alpha_1 - 2 \times \gamma)} \quad (5-13)$$

где

$$\alpha = \frac{360}{Z} \times yz; \quad sin\gamma = \frac{B}{2 \times R_1}$$

В – ширина неизолированной катушки. Межполюсные и межкатушечные соединения не должны размещаться слишком близко, как от лобовых частей обмотки, так и от корпуса машины.

На рис. 5–24 показано расположение межкатушечных и межполюсных соединений. Наименьшие допустимые расстояния в зависимости от напряжения машины даны в табл. 5–6. В том случае, когда междуполюсные соединения расположены над лобовыми частями обмотки, расстояние D должно быть выдержано до верхней части щита или корпуса статора. Размер E в этом случае берется от самой катушки, а не от межкатушечных соединений. Приведенные в таблице расстояния, так же как и в однослойной обмотке, считаются от неизолированной меди катушек до соединений и от неизолированной меди до металлических частей корпуса машины. Табл. 5–6 применима к обмоткам, как с гильзой, так и с непрерывной изоляцией.

Таблица 5–5

α	K_1	K_2
25	1,1	1,00
27	1,12	0,98
30	1,15	0,95
31	1,17	0,93
32	1,18	0,92
33	1,19	0,91
34	1.21	0,90
35	1,22	0,89
36	1,24	0.875
37	1,25	0,86
38	1.27	0,84
39	1,29	0,83
40	1,31	0,82
41	1,33	0,805
42	1,35	0,79
43	1,37	0,78
44	1,39	0,76
45	1,42	0,75
47	1,47	0,72
48	1,50	0,71
50	1,56	0,68
52	1,63	0,65
53	1,66	0,63
55	1,74	0,60

Таблица 5–6

Напряжение машины, *в.*	Размеры, мм.		
	C	D	E
0 – 500	20	25	10
500 – 3150	25	30	15
3150 – 6300	25	40	20

5–9. Определение размеров всыпных обмоток.

Формы и размеры мягких секций всыпных обмоток определяются шаблоном, на котором изготовляются эти секции. Здесь приводится только расчет средней длины витка такой секции. Зная его, можно найти длину провода, расходуемого на изготовление секции. Средняя длина витка определяется по формуле:

$$Lcp = 2 \times L_1 + 2 \times lcp \quad (5-14)$$

где L_1 – длина прямой части; lcp – средняя длина лобовой части;

$$lcp = K_1 \times \tau y + 20 \quad (5-15)$$

где τy – средняя ширина секции: $\tau y = t_{ср} y_{ср}$ (5–16); $yср$ – средний шаг по пазам:

$$tcp = \frac{\pi \times Dcp}{Z} \quad (5-17)$$

где Dcp – диаметр окружности, проведенной через середину поперечного сечения пазовой секции; Z – число пазов; K_1 – определяется по табл. 5–7., где Dcp – диаметр окружности, проведенной через середину поперечного сечения пазовой части секции; Z – число пазов; $K_г$ – определяется по табл. 5–7.

Таблица 5–7

Лобовая часть	Число полюсов	K_1
не изолирована	2	1,2
	4	1,3
	6	1,4
	8 и более	1,5
изолирована лентой	2	1,45
	4	1,55
	6	1,75
	8 и более	1,9

5–10. Крепление лобовых частей статорных обмоток.

Лобовые части статорных обмоток должны быть закреплены для того, чтобы усилия, которые возникают при коротких замыканиях, не могли деформировать эти выступающие части катушек. Даже при небольшой деформации легко повредить изоляцию. Однако в машинах малых мощностей возможные усилия настолько невелики, что здесь обычно жесткости катушек достаточны, чтобы противостоять этим усилиям.

В более крупных машинах крепление лобовых частей необходимо, причем конструкция его зависит от рода обмотки. В однослойных обмотках это делается с помощью гетинаксовых планок и деревянных распорок, прикрепляемых к нажимным фланцам при помощи шпилек (см. 5–25). Этот тип крепления является наиболее распространенным для однослойных обмоток и применяется в тех случаях, когда возможные усилия при коротких замыканиях невелики. В двухслойных обмотках лобовые части крепятся при помощи стальных бандажных колец. Нормальный способ такого крепления показан на рис. 5–26. Лобовые части катушек прикрепляются к кольцу прочным пеньковым шнуром. к кольцу в нескольких точках по окружности привариваются планки, которыми оно крепится к статору шпильками. В небольших машинах часто кольцо к статору не крепится совсем. Кольцо и планки изолируются несколькими слоями ленты в зависимости от напряжения машины. Для напряжений до 500В изоляция кольца состоит из одного слоя киперной и двух слоев лакированной ленты, поверх которой накладывается еще один слой киперной ленты. Для напряжений от 500 до 3150 *в* кольцо изолируется тремя слоями лакированной и одним слоем киперной ленты. Для напряжений от 3150 до 6300 *в* кольцо изолируется тремя рядами лакированной и одним рядом киперной ленты. Между кольцом и катушками ставятся прокладки из электрокартона таким образом, чтобы нигде не было зазоров, и катушки можно было плотно притягивать шнуром к кольцу.

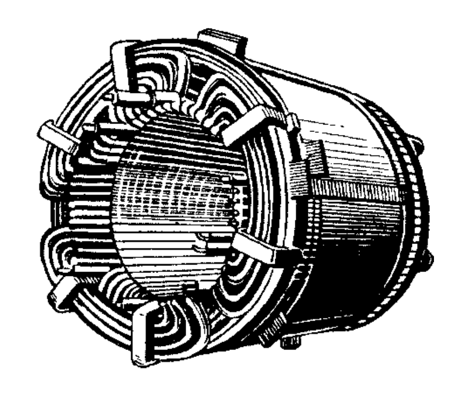


Рис. 5–25. Крепление лобовых частей однослойной обмотки.

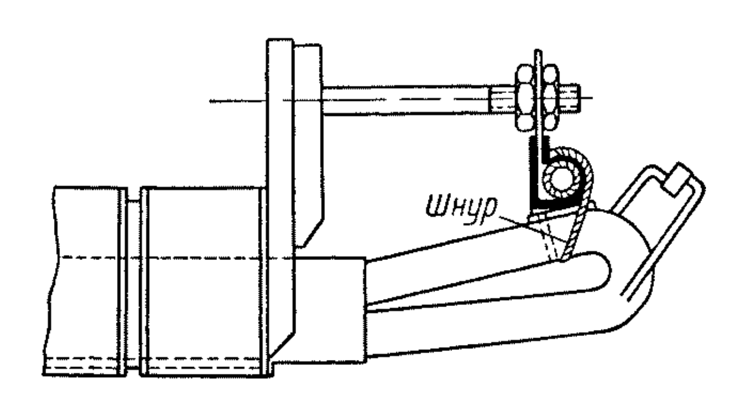


Рис. 5–26. Крепление лобовых частей двухслойной обмотки.

5–11. Пример определения размеров катушек двухслойной обмотки.

Так как в настоящее время все больше находят применение при низких напряжениях полуоткрытые пазы, то в качестве примера определим размеры катушки для такого паза. Как уже было сказано, при полуоткрытых пазах катушка, лежащая в одном пазу, для возможности ее укладки разделяется на две изолированные полукатушки (см. рис. 5–27).

Данные обмотки: внутренний диаметр статора Di = 390 м., ширина стали la = 290 м. Размеры паза 8,3/4,4×33,2/37 мм. (см. рис. 5–27), число пазов Z = 72, число проводников в пазу 12, размеры проводников 2,44×4,4/2,74×4,7 м. Изоляция проводников ПБД, шаг катушки по пазам yz = 10×(1 – 11), напряжение 400 *в*

Определение размеров поперечного сечения пазовой части катушки.

Размер по ширине.

Ширина меди с изоляцией ПБД 2×2,74 = 5,48 мм. Толщина миткалевой ленты (1 слой толщиной 0,15 мм. впритык на каждой полукатушке) 0,15×2×2 = 0,6 мм.

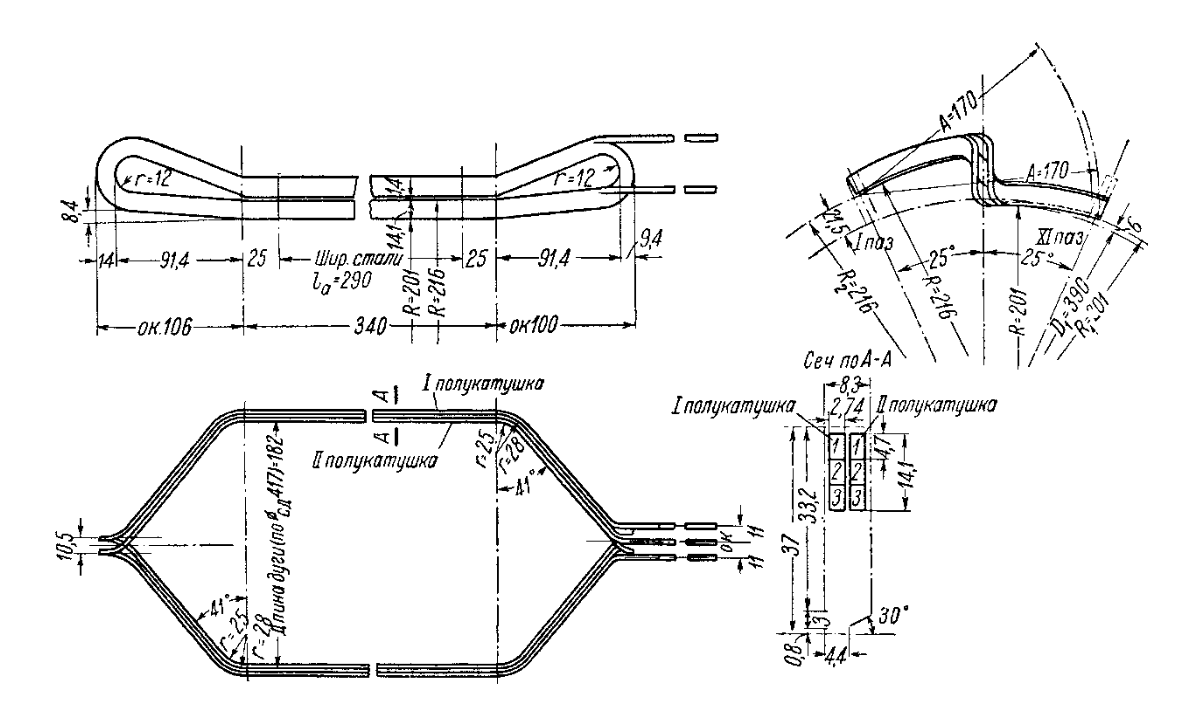


Рис. 5–27. Катушка для полузакрытого паза.

Прокладка между катушками (электрокартон пропитанный толщиной 0,2 мм.) 0,2 мм. Толщина электрокартона пазовой изоляции (1 слой толщиной 0,2 мм. и 1 слой толщиной 0,1 мм.) 0,2×2 + 0,1×2 = 0,6 мм. Толщина лакоткани пазовой изоляции (1 слой толщиной 0,3 мм.) 0,3×2 = 0,6 мм. Разбухание от пропитки: 0,05×2 + 0,2 = 0,3 мм. Общая ширина катушек с изоляцией: 7,78 мм. ≈ 7,8 мм.

Размер по высоте.

Высота меди: 6×4,7 = 28,2 мм. Толщина миткалевой ленты: 4×0,15 = 0,6 мм. Прокладка между катушечными сторонами (электрокартон толщиной 0,5 мм.) 0,5 мм. Толщина электрокартона пазовой изоляции (1 слой электрокартона толщиной 0,2 мм., перекрой сверху и 1 слой электрокартона толщиной 0,1 мм. впритык) 0,2×3+ 0,1×2 = 0,8 мм. Толщина лакоткани пазовой изоляции (1 слой лакоткани толщиной 0,3 мм. (перекрой сверху) 0,3×3 = 0,9 мм. Прокладка под клин: (электрокартон толщиной 0,1 мм.) 1,0 мм. Разбухание от пропитки: 0,05×6 = 0,3 мм. Общая высота двух катушек с изоляцией: 32,3 мм. ≈ 32,5 мм.

Определение размеров поперечного сечения лобовой части катушки.
Размер по ширине.

Ширина меди 2×2,74 = 5,48 мм. Толщина миткалевой ленты (1 слой толщиной 0,15 мм. вполнахлеста на каждой полукатушки) 0,15×2×2×2 = 1,2 мм. Разбухание от пропитки 0,05×2 + 0,2 = 0,3 мм. Общая ширина 6,98 мм. ≈ 7,0 мм.

Размер по высоте.

Высота меди 3×4,7 = 14,1 мм. Толщина миткалевой ленты 0,15×2×2 = 0,6 мм. Разбухание от пропитки 0,05×3 = 0,15 мм. Общая высота 14,85 мм. ≈ 15 мм. Длина прямой части катушки по формуле (5–2): $L_1 = la + 2в = 290 + 2\times25 = 340$ мм. Расстояние между катушечными сторонами по формуле (5–8):

$$l = \frac{\pi \times (R_1 + R_2) \times yz}{Z} = \frac{\pi \times 201 + 216 \times 10}{72} = 182 \text{ мм.}$$

Величины R_1 и R_2 показаны на рис. 5–27. Угол наклона лобовой части α по формуле (5–9)

$$sin\alpha = s + \frac{x}{t}$$

здесь s = 7 мм., x=4,5 мм.

$$t = \frac{2 \times \pi \times R_1}{Z} = \frac{2 \times \pi \times 210}{72} = 17{,}5 \text{ мм.}$$

$$sin\alpha = \frac{7 + 4{,}5}{17{,}5} = \frac{11{,}5}{17{,}5} = 0{,}675 \quad \alpha = 41^{\circ}$$

Вылет лобовой части со стороны выводов по формуле (5–10)

$$f_1 = \left[r_2 \times \left(\frac{1}{sin\alpha} - 1\right) + \frac{l}{2}\right] tg\alpha + H_1$$

$$r_2 = r + \frac{B}{2} = 25 + \frac{6{,}08}{2} = 28{,}04 \text{ мм. } ; tg41^{\circ} = 0{,}869; \;\; H_1 \approx 2 \times 4{,}7 = 9{,}4 \text{ мм.}$$

$$f_1 = \left[28{,}04 \times \left(\frac{1}{0{,}657} - 1\right) + \frac{l}{2}\right] \times 0{,}869 + 9{,}4 = 105{,}6 \times 0{,}869 + 9{,}4 = 91{,}4 + 9{,}4 = 100{,}8 \approx$$
$$\approx 101 \text{ мм.}$$

Вылет лобовой части со стороны, противоположной выводам:

$$f_2 = \left[r_2 \times \left(\frac{1}{sin\alpha} - 1\right) - \frac{l}{2}\right] tg\alpha + H_2; \quad H_2 \approx 3 \times 4{,}7 = 14{,}1 \text{ мм.}$$

$$f_2 = 91{,}4 + 14{,}1 = 105{,}5 \approx 106 \text{ мм.}$$

Угол отгиба лобовой части принимаем β = 6°. Внутренний радиус головки r_1 = 12 мм. По формуле (5–11):

$$K = (f_2 - H_2 - r_1) tg\beta = (106 - 14 - 12) tg6^{\circ} = 80 \times 0{,}105 = 8{,}4 \text{ мм.}$$

Размер A для установки намоточного станка по формуле (5–13):

$$A = \sqrt{R_1^2 + R_2^2 - 2 \times R_1 \times \; R_2 \times \cos(\alpha_1 - 2 \times \gamma)}$$

$$\alpha_1 = \frac{360}{Z} \times yz = \frac{360}{72} \times 10 = 50^{\circ}; \quad sin\gamma = \frac{B}{2 \times R_1} = \frac{6{,}08}{2 \times 201} = 0{,}0151; \quad \gamma \approx 1^{\circ}$$

$$A = \sqrt{201^2 + 216^2 \times 2 \times 201 \times 216 \times cos(50 - 2^{\circ})} = \sqrt{40401 + 46656 - 58100} = 170$$

Глава шестая
Конструкция роторных обмоток асинхронных двигателей

6–1 Классификация роторных обмоток асинхронных двигателей.

Обмотки роторов асинхронных машин разделяются на две основные группы, а именно:
1) короткозамкнутые обмотки;
2) фазовые обмотки. К первой группе нужно отнести:
а) обмотки с простой беличьей клеткой;
б) обмотки с двойной беличьей клеткой;
в) обмотки с глубоким пазом. Ко второй группе относятся:
а) обмотки катушечные;
б) обмотки стержневые.

Формы пазов, имеющие применение в роторных обмотках асинхронных двигателей, показаны на рис. 6–1, причем пазы *в*, *г*, *д*, *е* применяются в короткозамкнутых роторах, а пазы *а* и *б* – в фазовых.

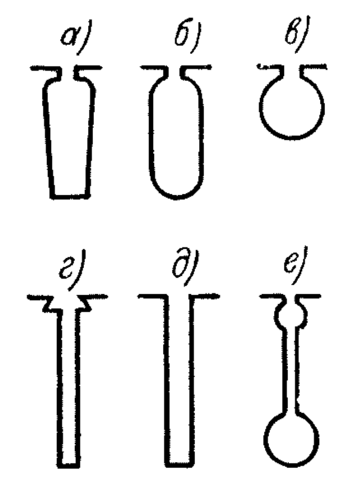
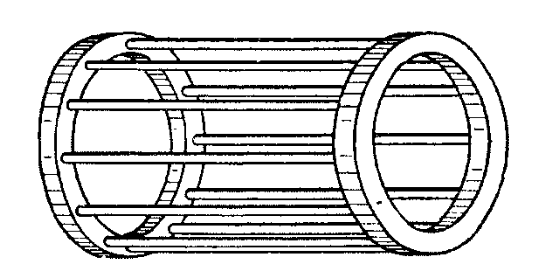
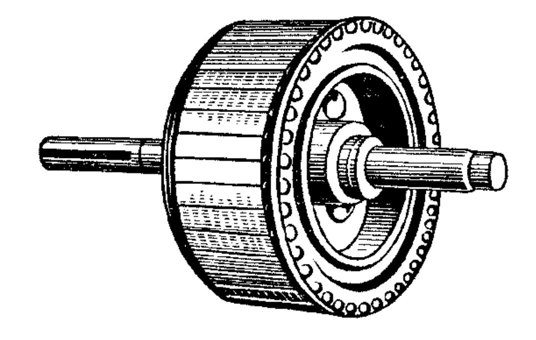


Рис. 6–1. Форма пазов асинхронных двигателей.

6–2. Обмотки с простой беличьей клеткой.

Эта обмотка является самой простой роторной обмоткой. Она состоит из ряда медных или латунных стержней, большей частью круглого сечения, вложенных в пазы. Пазы ротора при этом, как правило, не изолируются. Длина стержней несколько больше длины стали ротора. С обеих сторон ротора стержни замыкаются медными кольцами. На рис. 6–2 показана роторная обмотка в виде беличьей клетки. Крепление колец к стержням обыкновенно осуществляется следующим образом: кольца с просверленными сквозными отверстиями надеваются на стержни и затем тщательно припаиваются; иногда они просто припаиваются к стержням. Ротор с обмоткой в виде беличьей клетки показан на рис. 6–3. Такого рода обмотки применяются для двигателей малой и средней мощности.


Рис. 6–2. Роторная обмотка в виде беличьей клетки.


Рис. 6–3. Ротор с обмоткой в виде беличьей клетки.

В настоящее время широкое распространение получила обмотка в виде беличьей клетки, выполняемая путем заливки пазов ротора алюминием. Одновременно с заливкой пазов отливаются и коротко–замыкающие кольца, а в некоторых случаях и лопасти вентилятора. Простота и дешевизна изготовления такой обмотки, уменьшение веса ротора дают большую экономию при массовом производстве двигателей (см. рис. 6–4). Как видно из рисунка, конструкция ротора при таком исполнении обмотки получается очень простой и компактной.

6–3. Обмотки с двойной беличьей клеткой.

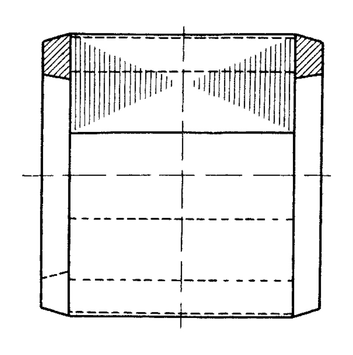


Рис. 6–4. Ротор с беличьей клеткой выполненной путем заливки алюминием.

Эти обмотки представляют собой две самостоятельные обмотки – две беличьи клетки, расположенные одна внутри другой (рис. 6–5). Из рисунка ясно, что конструктивное выполнение этой обмотки ничем по существу не отличается от обмотки с одной беличьей клеткой. Двойную беличью клетку можно получить также заливкой металла в роторные пазы специальной формы. На рис 6–6 приведен разрез ротора двигателя с залитой обмоткой. Два паза слева (заштрихованы) залиты алюминием. Этот способ изготовления обмотки представляет несомненные преимущества в смысле облегчения веса ротора и уменьшения размеров обмотки.

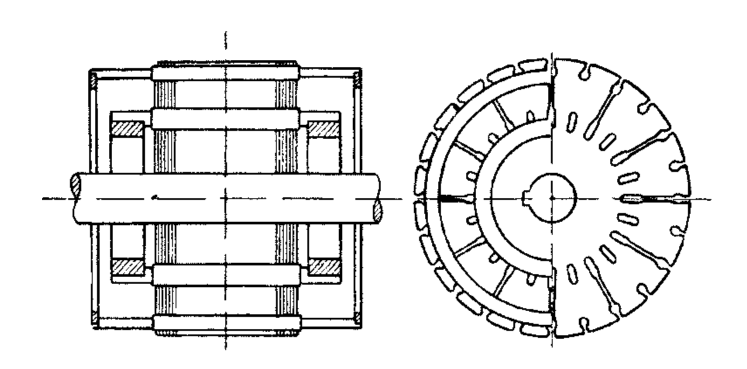


Рис. 6–5. Ротор с обмоткой в виде двойной беличьей клетки.

6–4. Обмотки ротора с глубоким пазом.

Дальнейшим шагом по пути упрощения конструкции обмотки с двойной беличьей клеткой является замена алюминиевых стержней фасонного сечения, получаемых заливкой, стержнями прямоугольного сечения, высота которых в несколько раз больше ширины.

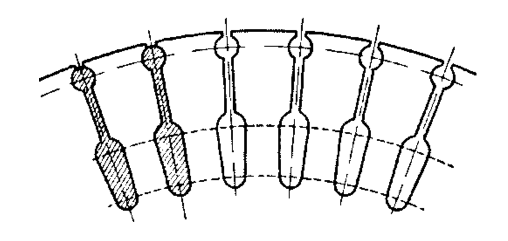


Рис. 6–6. Ротор двигателя с залитой обмоткой в виде двойной клетки.

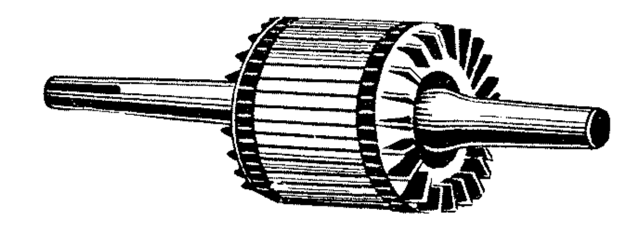


Рис. 6–7. Ротор с глубоким пазом.

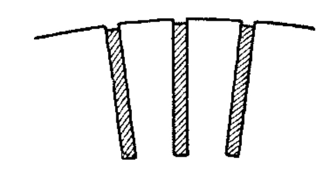


Рис. 6–8. Сечение ротора по пазам.

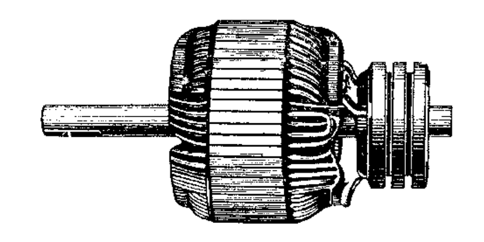


Рис. 6–9. Ротор с катушечной обмоткой.

Эти стержни вкладываются в открытые пазы соответствующей формы. Ротор с такой обмоткой изображен на рис. 6–7, а на рис. 6–8 дано его сечение по пазам. Как показано на рис. 6–7, в лобовых частях стержни между собой соединены кольцами, снабженными лопатками, выполняющими роль вентилятора.

6–5. Катушечная обмотка.

Катушечные обмотки выполняются главным образом в виде однослойных обмоток путем протяжки через пазы, непосредственно на роторе, аналогично протяжным статорным обмоткам. Из–за относительной сложности катушечная обмотка в роторах асинхронных двигателей выполняется редко, главным образом в двигателях малой мощности. На рис. 6–9 показан ротор асинхронного двигателя с катушечной обмоткой.

6–6. Стержневая обмотка.

Эта обмотка имеет большое распространение в роторах асинхронных двигателей средней и в особенности большой мощности. Выполняется она в виде двухслойной петлевой или волновой обмотки. По своей конструкции весьма близка к стержневой обмотке якорей машин постоянного тока, отличаясь от нее главным образом отсутствием петушков, уравнительных соединений и способом соединения. Благодаря тому, что в роторах асинхронных двигателей применяются обычно полузакрытые пазы, стержни не могут вложены сверху в паз, а должны вставляться в него с торцовой стороны. Поэтому лобовая часть стержня может быть отогнута заранее на шаблоне только с одной стороны. С другой стороны это делается после укладки на самом роторе.

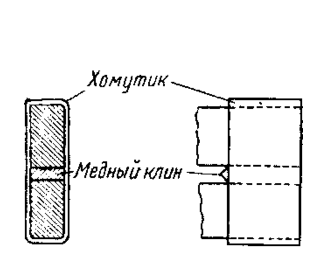


Рис. 6–10. Хомутик с клином.

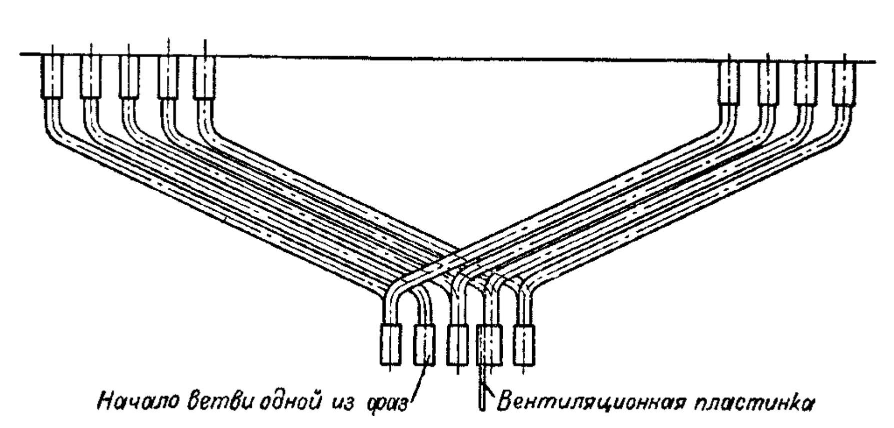


Рис. 6–11. Лобовые соединения роторной обмотки асинхронного двигателя со стороны контактных колец.

С другой стороны это делается после укладки на самом роторе. В стержневых обмотках роторов применяется медь либо прямоугольного сечения, либо специальная, так называемая роторная медь. Изоляция стержней, так же как и изоляция паза, будет описана ниже. Отдельные стержни обмотки соединяются между собой при помощи хомутиков, как показано на рис. 6–10. Лобовые части обмотки, так же как в якорях постоянного тока, укрепляются при помощи проволочных бандажей. Метод их расчета приведен выше. На рис. 6–11 изображена лобовая часть обмотки со стороны контактных колец. Как видно из рисунка, она мало отличается от стержневой обмотки якоря постоянного тока. Для получения более интенсивной вентиляции в хомутики, соединяющие отдельные стержни обмотки, вставляют пластинки из белой жести. Они играют роль вентиляторных крыльев. На рис. 6–12 показан хомутик с вентиляторной пластинкой. Изоляция стержней роторной обмотки зависит от напряжения между контактными кольцами. Для напряжения до 500 *в* основной изоляцией является бакелизированная бумага или синтофолий, которыми обматывается стержень.

Для напряжений до 300 *в* берется 5–7 слоев толщиной около 0,07 мм. Для напряжений от 300 до 500 *в* берется 10 слоев бумаги. Для предохранения изоляции стержней в паз закладывается гильза из электрокартона толщиной 0,2 мм. Лобовая часть при напряжении до 300 *в* изолируется одним слоем тафтяной ленты вполнахлеста, а при напряжениях до 500 *в* – слоем лакированной ленты (или двумя слоями синтоленты вполнахлеста) и поверх нее миткалевой лентой. При напряжениях свыше 500В обмотка изолируется в пазовой части микалентой и микафолием, а в лобовой – микалентой. При напряжениях от 750 до 1000 *в* в пазовой части число слоев микафолия увеличивают до трех, а в лобовой берут два слоя микафолия. При напряжениях от 1000 до 1500 *в* в пазовой части – два слоя микаленты и четыре слоя микафолия, а в лобовой части – три слоя микаленты. Дополнительные и более подробные сведения об изоляции роторной обмотки см. в гл. 8. Соединение стержневой обмотки может осуществляться либо в звезду, либо в треугольник. Однако чаще всего применяется соединение звездой. Такое соединение обмоток осуществляется следующим образом. Концы каждой фазы соединяются вместе посредством так называемой нулевой шины. Начало обмотки каждой фазы присоединяется к трем контактным кольцам. Кроме того, благодаря двуслойности обмотки в каждой фазе имеются две самостоятельные ветви обмотки, которые соединяются между собой соединительными шинами последовательно или параллельно, в зависимости от заданной схемы обмотки. Нулевая и соединительные шины обычно расположены с внутренней стороны обмоткодержателя.

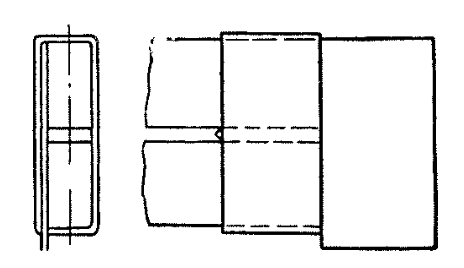


Рис. 6–12. Хомутик с вентиляционной пластинкой.

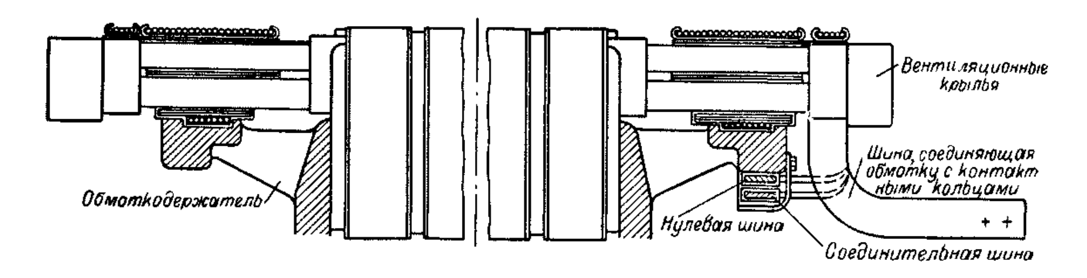


Рис. 6–13. Стержневая обмотка ротора.

Соединение их со стержнями обмотки производится либо соответствующим изгибом шин, как показано на рис. 6–13, либо посредством промежуточных шин, которые одними своими концами соединяются с соответствующими хомутиками, скрепляющими стержни обмотки, а другими приклепываются к нулевой или соединительным шинам. Шины крепятся заклепками и тщательно пропаиваются. Для соединения обмотки с контактными кольцами к соответствующим точкам ее присоединяются три шины, концы которых обычно приклепываются к стержням, выведенным от контактных колец. Крепление нулевой и соединительных шин к обмоткодержателю осуществляется посредством скоб, как это видно из рис. 6–13. Определение размеров стержневых роторных обмоток производится тем же способом и по тем же формулам, что для якорных обмоток машин постоянного тока. При определении длины прямой части принимают длину выступающей из паза части от 10 до 30 мм. в зависимости от напряжения между контактными кольцами. Расстояние между сторонами лобовых частей двух соседних стержней берут для напряжений до 500 *в* равным 2,5 мм. а для напряжений свыше 500 *в* равным 3,5 мм. Для облегчения сборки и разборки машины лобовую часть отгибают к центру на 5–6 мм. как показано на рис. 6–14.

6–7. Контактные кольца и приспособления для подъема щеток и короткого замыкания.

При пуске в ход асинхронного двигателя с фазовой обмоткой ротора в цепь последнего включается пусковой реостат. Соединение обмотки с реостатом осуществляется при помощи щеток и трех контактных колец, к которым присоединяются концы обмотки. После того как ротор достиг нормальной скорости вращения, сопротивление реостата полностью выводится из цепи ротора. Для предотвращения износа щеток и контактных колец двигатель иногда снабжается механизмом, при помощи которого контактные кольца, а вместе с тем и обмотка ротора замыкаются накоротко, и одновременно щетки приподнимаются на некоторое расстояние от контактных колец.

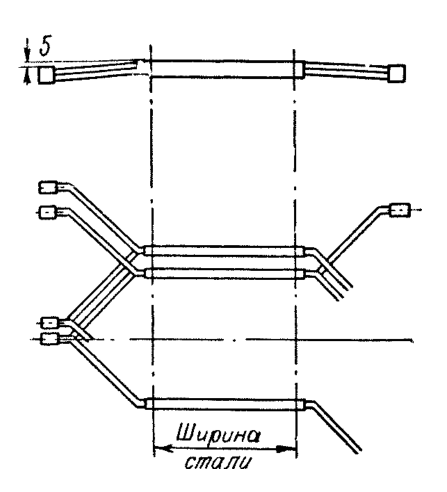


Рис. 6–14. Стержневая обмотка.

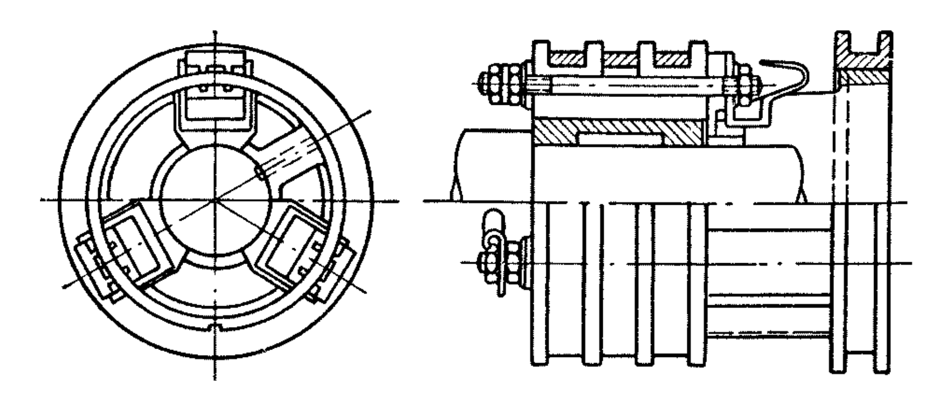


Рис. 6–15. Контактные кольца.

Контактные кольца асинхронного двигателя показаны на рис. 6–15. Три кольца посажены на общую втулку и изолированы от нее слоем миканитовой опрессовки. Присоединение концов обмотки к кольцам производится при помощи стержней, закрепленных в каждом кольце. Механизм для подъема щеток и короткого замыкания колец показан на рис. 6–16.

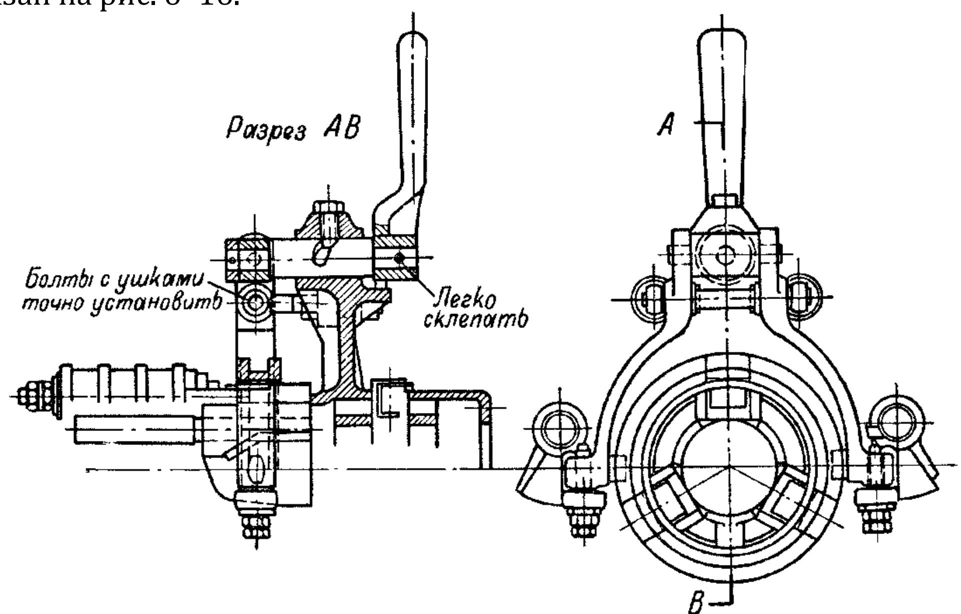


Рис. 6–16. Механизм подъема щеток и короткого замыкания колец.

Глава седьмая
Обмотки возбуждения синхронных машин с явновыраженными полюсами

7–1. Конструкция катушек возбуждения.

Обмотки возбуждения синхронных машин с явновыраженными полюсами

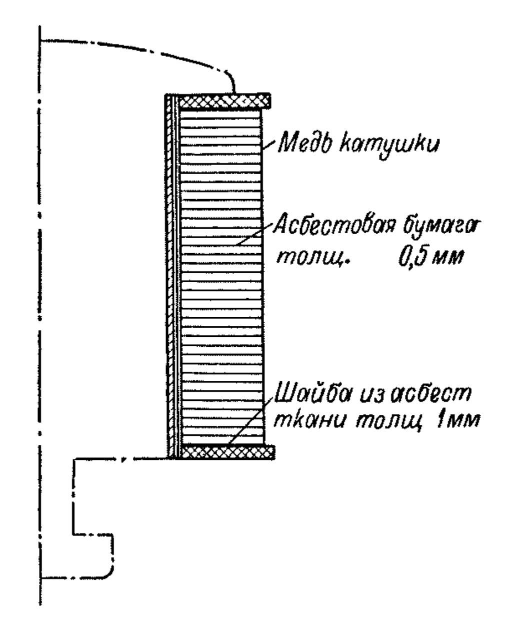
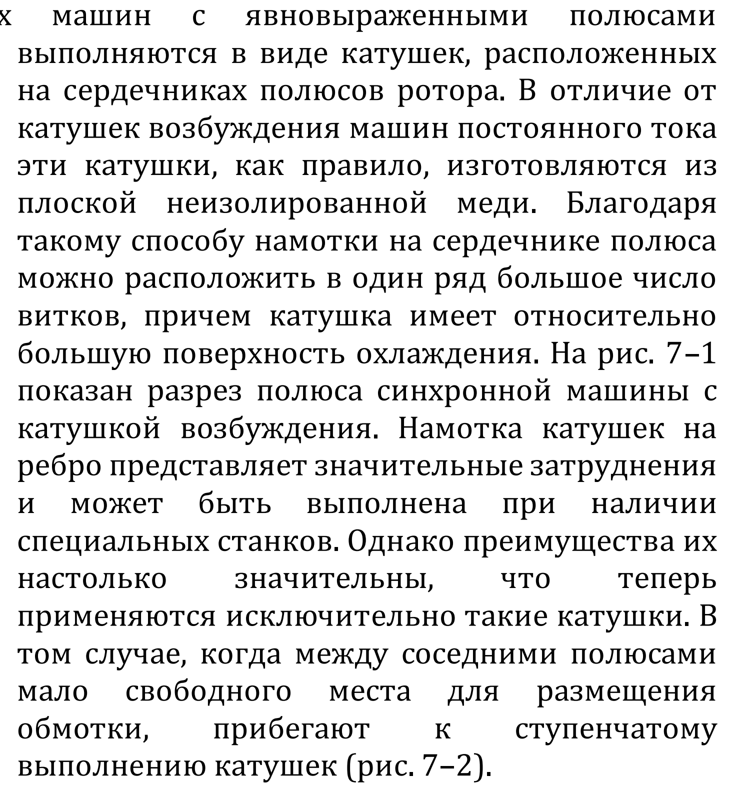


Рис. 7–1. Полюс синхронной машины с катушкой возбуждения.



выполняются в виде катушек, расположенных на сердечниках полюсов ротора. В отличие от катушек возбуждения машин постоянного тока эти катушки, как правило, изготовляются из плоской неизолированной меди. Благодаря такому способу намотки на сердечнике полюса можно расположить в один ряд большое число витков, причем катушка имеет относительно большую поверхность охлаждения. На рис. 7–1 показан разрез полюса синхронной машины с катушкой возбуждения. Намотка катушек на ребро представляет значительные затруднения и может быть выполнена при наличии специальных станков. Однако преимущества их настолько значительны, что теперь применяются исключительно такие катушки. В том случае, когда между соседними полюсами мало свободного места для размещения обмотки, прибегают к ступенчатому выполнению катушек (рис. 7–2).

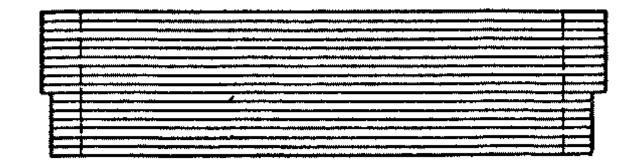


Рис. 7–2. Ступенчатая катушка возбуждения.

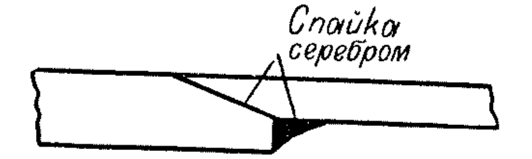


Рис. 7–3. Стык полосовой меди разных сечений в ступенчатой катушке.

Витки расположенные ближе к ободу ротора, делают из меди меньшей ширины, чем витки в верхней части катушки, где места всегда больше, но сечение витков всегда одинаково. Место стыка спаивается серебром (рис. 7–3.) Переход от одного сечения к другому рекомендуется делать плавно, так чтобы получить наибольшую поверхность соприкосновения соединяемых полос. В очень крупных машинах для увеличения поверхности охлаждения катушек им придают гребенчатое очертание. Профиль такой катушки показан на рис. 7–4. Все катушки возбуждения наматываются в одну сторону и соединяются между собой последовательно. Для осуществления этого и для присоединения их к токоподводу к концам катушек припаиваются выводные пластины. Пластины соседних катушек соединяются между собой хомутиками и пропаиваются. При больших окружных скоростях ротора под действием центробежных сил витки катушки могут выпучиваться, а соединительные пластины изгибаться, причем соединение между ними нарушится.

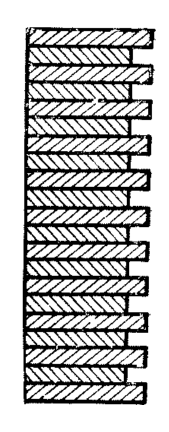


Рис. 7–4. Катушка с выступающими витками.

Во избежание этого между катушками устанавливаются распорки, а соединительные пластины укрепляются жесткими гетинаксовыми пластинами. Распорки и укрепляющие пластины видны на рис. 7–5. Показанная на этом рисунке конструкция применяется в машинах средних размеров. В очень крупных машинах распорки, так же как и соединительные пластины, крепятся к ободу ротора специальными шпильками.

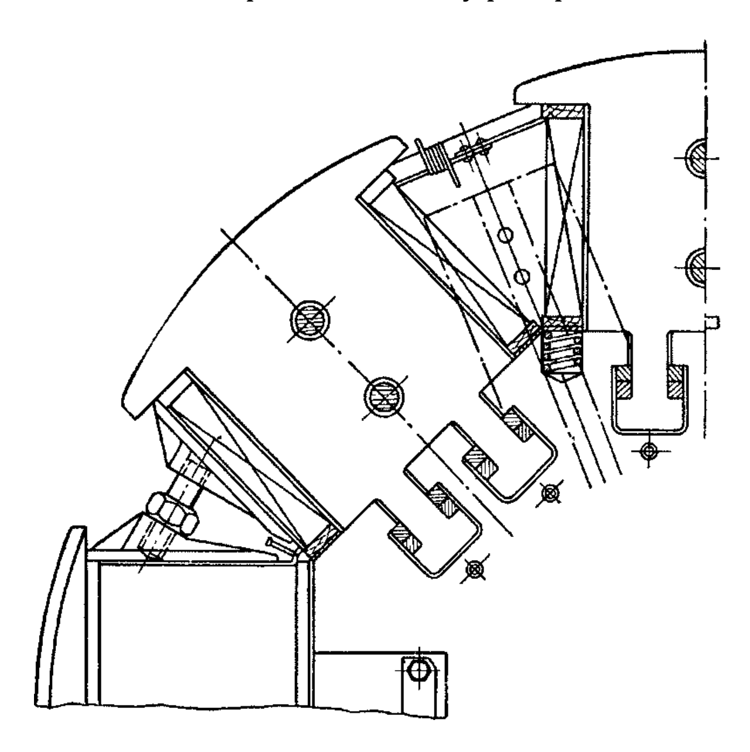


Рис. 7–5. Крепление полюсов ротора синхронной машины.

В отдельных случаях вместо медной шины для изготовления катушек возбуждения применяют алюминиевую шину. Замена меди алюминием возможна в тех случаях, когда расстояние между сердечниками полюсов велико и можно разместить катушки из более широкой шины. Увеличение ширины шины при замене меди алюминием необходимо для того, чтобы компенсировать меньшую удельную проводимость алюминия. Выводы таких катушек делают из медных пластин, которые привариваются к конечным виткам ее. При применении алюминия изоляцией между витками служит оксидная пленка. Для образования такой пленки алюминий подвергается процессу оксидирования, катушка запекается в эпоксидном лаке, что придает ей монолитность.

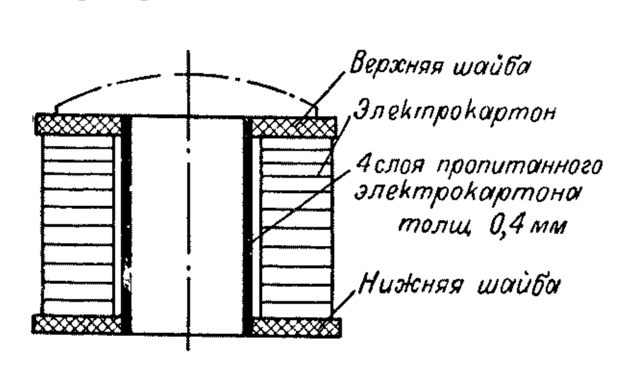


Рис. 7–6. Нормальная изоляция катушки возбуждения.

7–2. Изоляция катушек возбуждения.

Катушки возбуждения насаживаются на изолированный сердечник. Нормальная изоляция сердечника состоит из четырех–пяти слоев электрокартона толщиной 0,4–0,5 мм. Между витками с каждой стороны проводника в качестве изоляции наклеивается на лаке электрокартон толщиной 0,2 мм. Сверху и снизу катушки для изолировки от сердечника (башмака) и тела ротора кладутся изоляционные шайбы из пропитанного дерева или гетинакса. Толщина шайб около 10 мм. Для получения теплостойкой изоляции класса В сердечник полюса изолируется двумя–тремя слоями асбестовой бумаги и двумя–тремя слоями гибкого миканита толщиной 0,4–0,5 мм. Между витками прокладывается на лаке асбестовая бумага толщиной 0,25–0,5 мм.

Между деревянными шайбами и катушкой прокладывается шайба из асбестовой ткани толщиной около 1 мм. Нормальная и теплостойкая изоляция катушек возбуждения показана на рис. 7–6 и 7–7. После заклинивания полюса на роторе катушка возбуждения должна быть плотно прижата к ободу ротора и полюсному башмаку. Для этого под нижние изоляционные шайбы подкладываются выравнивающие дистанционные шайбы из электрокартона. С течением времени, возможно, некоторое ослабление катушки на полюсе. Чтобы в этом случае изоляционные шайбы не могли перемещаться, в специальные гнезда в теле ротора закладываются пружины, прижимающие изоляционные шайбы. Пружины видны на рис. 7–5.

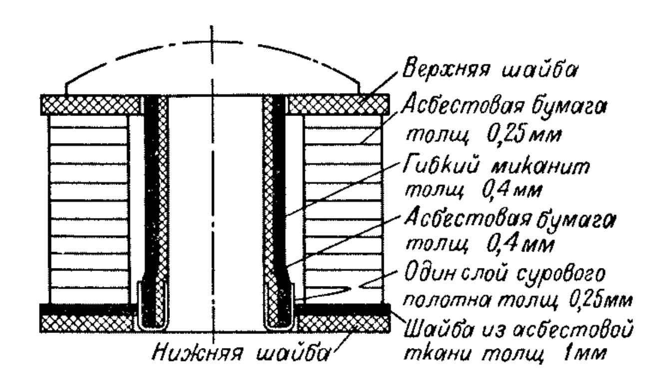


Рис. 7–7. Теплостойкая изоляция катушки возбуждения.

7–3. Пусковая обмотка синхронных двигателей.

Обычно синхронные двигатели снабжаются специальной пусковой обмоткой. Эта обмотка по своей конструкции аналогична беличьей клетке ротора асинхронного двигателя. Она состоит из круглых медных или латунных стержней, заложенных в соответствующие пазы в полюсных башмаках. С обеих сторон полюсов выступающие концы стержней замыкаются кольцами. Часть ротора синхронного двигателя с пусковой обмоткой показана на рис. 7–8.

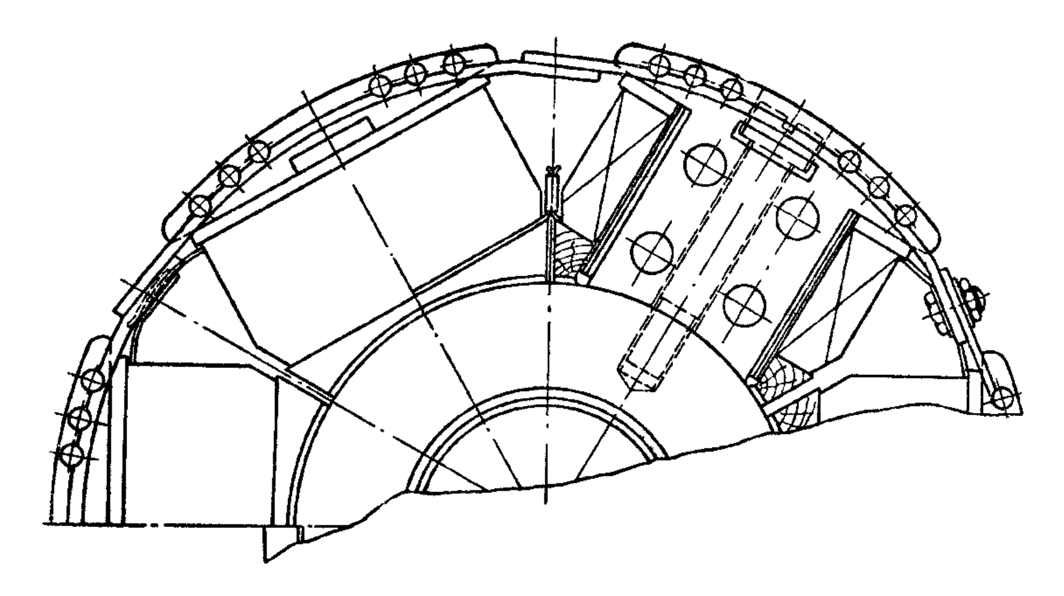


Рис. 7–8. Ротор синхронного двигателя.

Раздел третий производство обмоток.
Глава восьмая.
Изготовление обмоток якорей машин постоянного тока и роторов асинхронных двигателей.

8–1. Изготовление секций обмоток якорей.

а. Мягкие секции всыпной обмотки.

Для намотки мягких секций всыпной обмотки применяются деревянные оправки (шаблоны), показанные на рис. 8–1, *а* и *б*. Эти оправки состоят из трех частей: основания 1 и двух боковых планок 2 и 3. Планка 2 наглухо прикреплена к основанию 2, планка 3 – съемная. В каждой из них сделаны вырезы, в которые в процессе намотки укладывают кусочки шпагата или ленты для скрепления намотанных секций. Основание 1 оправки имеет небольшой конус для облегчения снятия намотанных секций. Во всех трех частях оправки имеются отверстия для надевания их на болт, прикрепляемый к шпинделю намоточного станка. В зависимости от размеров секций оправки имеют различные размеры и формы. Для ускорения процесса намотки часто несколько оправок скрепляются вместе болтом и затем прикрепляются к шпинделю намоточного станка. В этом случае, закончив намотку одной катушки, переходят к намотке следующей, не снимая оправок со станка. Проводники с барабанов, установленных на специальном натяжном приспособлении, показанном на рис. 8–2, проходят через отверстия устройства 1 и далее поступают в зажимное приспособление 5, представляющее собой два гетинаксовых бруска, между которыми зажимаются проводники. Зажим проводников осуществляется барашками. От зажимного приспособления проводники подаются к оправке, установленной на станке, на которой закрепляются. Число барабанов берется равным числу секций в катушке. В тех случаях, когда витки для облегчения обмотки составляются из двух или трех параллельных проводников, число барабанов соответственно увеличивается. Для того чтобы при соединении секций с коллектором их не перепутать, на начало и конец разных секций надевают "чулки" разных цветов. Практически при намотке таких катушек можно обойтись и без показанного на рис. 8–2 натяжного приспособления; барабаны с проводом надеваются на ось (круглый стальной стержень) и затем устанавливаются на козлах; далее проволока через зажимное приспособление подается к оправке, помещенной на намоточном станке.

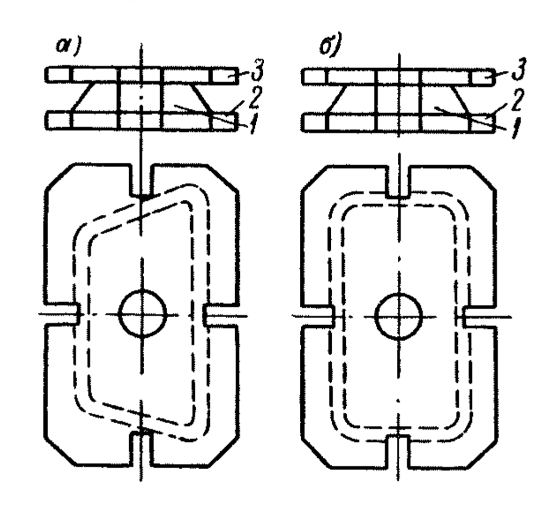


Рис. 8–1. Оправки для намотки катушек.

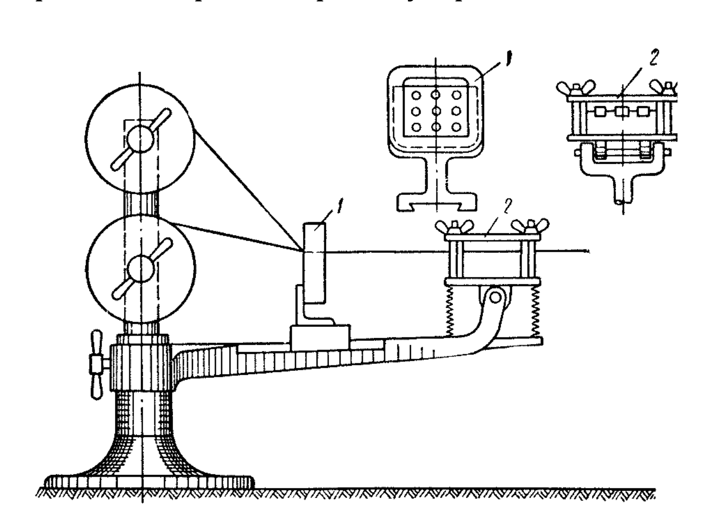


Рис. 8–2. Натяжное приспособление.

Намотку катушек можно вести также с одного барабана. В этом случае после намотки каждой секции (например, пяти витков) выпускают петли и затем мотают следующую секцию и т. д. до тех пор, пока не будут намотаны все секции катушки (например, три).

б. Жесткие секции шаблонной обмотки.

Для намотки жестких секций удобнее всего пользоваться приспособлением, называемым универсальным шаблоном (рис. 8–3), который по своей конструкции весьма прост и очень удобен для намотки различных типов обмотки. В производственном отношении это имеет большое значение, так как всякая перестановка и заготовка отдельных шаблонов связана с большой затратой времени. Изготовление секций на универсальном шаблоне состоит из двух операций: намотки петли и ее растяжки. Шаблон для намотки представляет собой вырезанный по специальной форме лист, составленный из двух частей. Между этими двумя частями вставляются определенного размера кулачки 1 и 2, положением которых определяется длина секции. Кулачки передвигаются между двумя частями листа по особым направляющим бортикам. Их можно установить на требуемое расстояние для намотки секций определенной длины. Когда секция намотана, правая половина шаблона может быть сдвинута при помощи растяжного приспособления (рис. 8–3, справа).

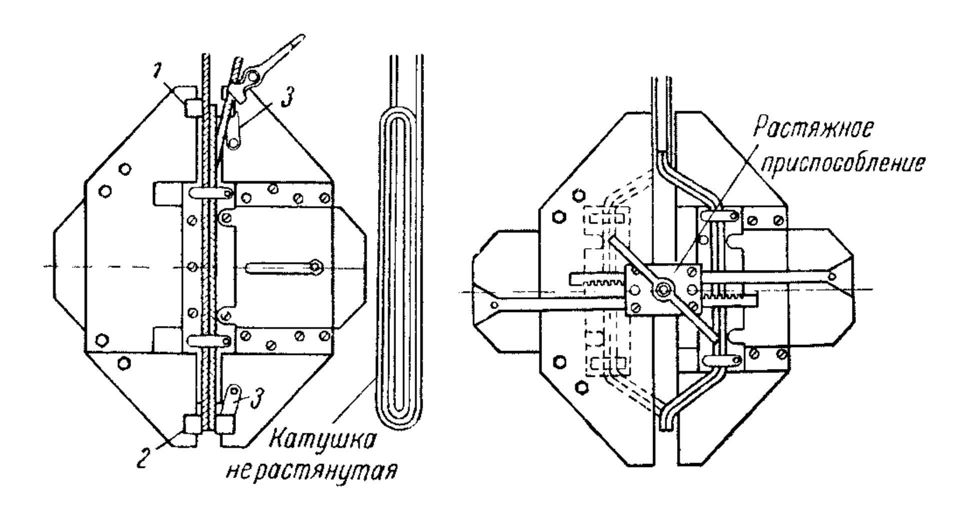


Рис. 8–3. Универсальный шаблон.

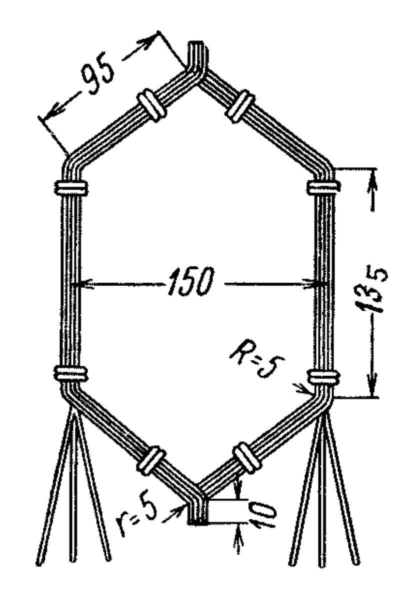


Рис. 8–4. Катушка шаблонной обмотки.

Чтобы намотать одновременно, например, три секции, необходимо медь, находящуюся в одной бухте, перемотать на три отдельных барабана. Барабаны должны быть укреплены на осях, на которых они могут свободно вращаться. Медь с барабанов будет поступать тремя отдельными проволоками, идущими параллельно к намоточному приспособлению. Натяжение проволоки регулируется зажимным устройством, прикрепленным к полу. Обычно намотчик изготовляет первую пробную секцию, на которой учитывает все недостатки установки. Чтобы изготовить пробную секцию, необходимо сделать предварительный подсчет длины и ширины секции и установить кулачки согласно полученным размерам. Радиус кулачков должен быть определенной величины, так как он определяет радиус головки секции; его следует увеличить путем подкладки картона.

Пусть, например, требуется намотать катушку по размерам, приведенным на рис. 8–4. Длина секции в нерастянутом состоянии будет равна 135 мм. (длина прямой части) + 2×95 (две длины лобовых частей) + 4×2,5 мм. = 10 мм. (длина частей в четырех закруглениях). Всего получится: 135 + 190 + 10 = 335 мм. Установив наружные точки кулачков на указанное расстояние друг от друга и закрепив их планками, приступают к намотке секции. Длина проводников для присоединения к коллектору может быть подсчитана как сумма следующих отрезков: длина перехода с прямой части (пазовой) на лобовую, длина лобовой части, длина перехода от лобовой части к головке, длина головки, расстояние от головки до коллекторной пластины (принимается приблизительно от 15 до 20 мм.) плюс длина шлица коллекторной пластины. Концы трех проволок прикрепляют к раздвижной раме приспособления, как указано на рис. 8–3, и, пустив станок в ход, наматывают требуемое количество витков, следя за тем, чтобы все три проволоки ложились прямо. Перекрещивания проволок допускать не следует, так как это увеличит размеры секций и при дальнейших операциях может продавить изоляцию витков, что повлечет за собой замыкание. Вторые концы наматываемых секций выпускают длиннее первых на 25–30 мм. учитывая, что они будут выходить из–под паза секций и проходить по верху лобовой части в шлиц коллекторной пластины (для петлевой обмотки этот конец будет короче, чем для волновой, на 10–20 мм.). Намотанную секцию связывают в приспособлении в восьми местах хлопчатобумажной лентой, для того чтобы витки не рассыпались. Эти временные скрепления накладываются еще ранее на нерастянутую секцию. Для растяжки секции скобочки 3 (рис. 8–3) отводят в стороны, чтобы кулачки имели возможность двигаться. Затем ставят растяжное приспособление и растягивают намотанную секцию так, как указано на рисунке. Обычно величина растяжки секции делается несколько более указанной на чертеже, так как приходится считаться с упругостью меди. После растяжки кулачки, а также секцию вынимают из приспособления и проверяют ее размеры. Убедившись в правильности размеров, производят дальнейшую намотку.

в. Изготовление стержневых обмоток.

Стержневые обмотки якорей изготовляются из голой или изолированной меди прямоугольного сечения. Бухты медного проводника надеваются на деревянные конусные барабаны, на которых они свободно вращаются и разматываются. С бухты проводник поступает к специальным приводным ножницам для нарезки отдельных стержней. Длина стержней определяется путем установки упора до места отреза с таким расчетом, чтобы из него можно было изготовить целиком петлевую или волновую секции. После нарезки производят рихтовку стержней, т. е. им придают прямолинейность. Делается это на стальной плите, о которую ударяют несколькими стержнями, наложенными друг на друга широкой гранью. Затем рихтуют каждый отдельный стержень, постукивая деревянным молотком по всей его длине. Таким образом, медь выравнивается и поступает на последнюю операцию. Более совершенная резка медных заготовок производится на медерезательном станке, где одновременно с нарезкой выполняется операция рихтовки при помощи роликового устройства. На рис. 8–5 дано схематическое изображение такого станка. С разъемного, отдающего конусного барабана провод протягивается через фибровые зажимные пластины, систему выравнивающих роликов, расположенных в горизонтальной и вертикальной плоскостях, через каретку подающего механизма и через нож. Настраивается станок на длину развернутой заготовки секций или полусекций с учетом припуска 5 мм. Для этого подбираются шестерни 1/1,1/2, 1/3, 1/4 и 1/5, приводящие в действие нож. Так, например, один полный оборот шкива при крайнем положении шатуна, как указано на рис. 8–5, соответствует длине отрезанной заготовки 500 мм. при установке шестерен 1/1, если требуется длина заготовки в 1000 мм. то устанавливают шестерню 1/2, и нож при этом отрезает провод после второго оборота.

Число оборотов для требуемой длины заготовки определяется по формуле $n = L/k$, где n – число оборотов ведущего шкива; L – длина заготовки с припуском 5 мм.; k – постоянная станка – для данного случая равная 500 мм. при крайнем положении шатуна на линейке "2". Если же нужная длина заготовки не соответствует целому числу оборотов в крайнем положении шатуна, тогда шатун переводится на другое деление "q" по линейке "2", которое определяется по формуле:

$$q = -\frac{n \times k - L}{n}$$

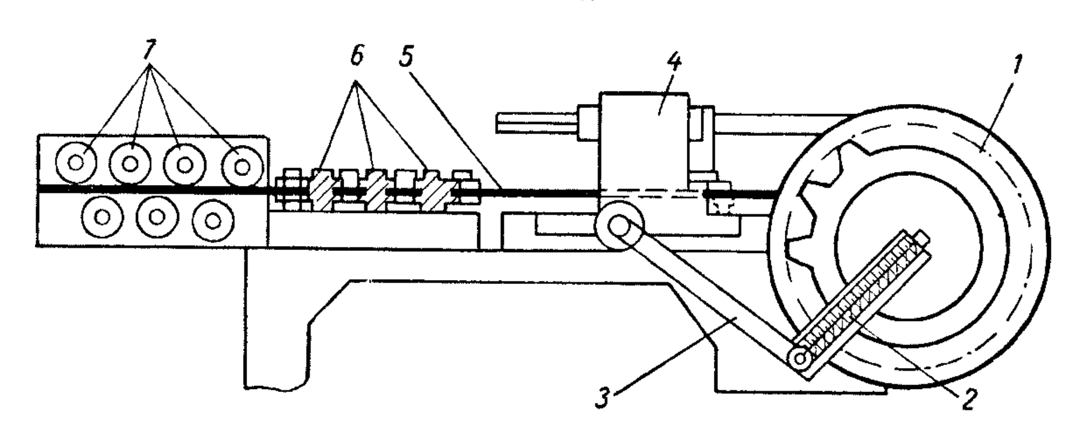


Рис. 8–5. Медерезательный станок.
1 – вращающий шкив; 2 – линейка с делениями, 3 – шатун; 4 – подающий механизм; 5 – медный провод; 6 – ролики в горизонтальной плоскости; 7 – ролики в вертикальной плоскости.

Пример. Настроить станок на длину заготовки 920 мм. Число оборотов будет:

$$n = \frac{L}{k} = \frac{920}{500} = 1{,}84 \approx 2$$

Для этого случая подбирают шестерни 1/2. Число делений на линейке определяется по формуле:

$$q = \frac{n \times k - L}{n} = \frac{2 \times 500 - 920}{2} = 40$$

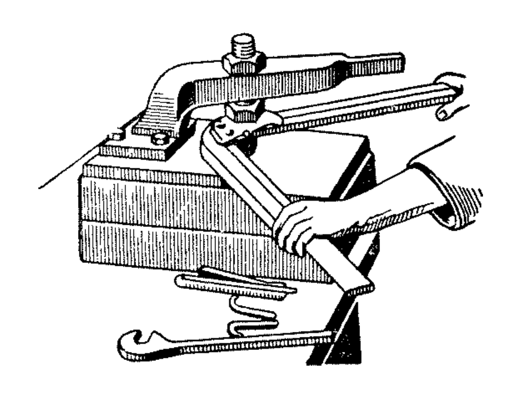


Рис. 8–6. Приспособление для выгиба головки секции.

Таким образом, чтобы настроить станок на длину 920 мм. нужно закрепить шатун на делении линейки 40 и установить шестерню 1/2. После чего его включают и нарезают нужное количество заготовок. Концы медных заготовок независимо от того, какая медь применяется (голая или в собственной изоляции), зачищаются на металлических щетках на длину, указанную в чертеже с припуском 15–20 мм. затем лудятся. Горячее лужение обычно производится в отдельном помещении, где установлены:

а) ванна для припоя с электрообогревом и местной вытяжной вентиляцией;

б) ванна для активного паяльного флюса №6а;

в) бак с проточной водой.

Припоем в этом случае служит ПОС–40, температура его в расплавленном состоянии должна быть 280–300°С. Флюс №6а – новый вид раствора, применяемый взамен 50% спиртового раствора канифоли. Использование травленой соляной кислоты не рекомендуется.

В состав флюса №6а (по данным Ленинградского химико–технологического института) входят: этилцеллозольв или этиловый спирт, канифоль сосновая, триэталамин и анилин солянокислый технический. Выводные концы стержней опускают в ванну с флюсом на длину, подлежащую лужению, затем вынимают и, дав стечь излишкам флюса, погружают в расплавленный припой. Луженые концы сразу же очищают от избытков припоя волосяной щеткой вручную или механическим путем и промывают проточной водой. Лужение концов должно быть выполнено тщательно, чтобы обеспечить хорошую пайку концов стержней с коллекторной пластиной или петушком. Иногда одноразовое лужение является недостаточным, что определяется по внешнему виду – по имеющимся пятнам. В таком случае процесс лужения повторяется. Рассмотрим изготовление якорных секций волновой обмотки. В отрихтованных заготовках сначала делают выгиб головки, для чего отбирают количество проводников, равное их числу в якорной секции. Эта операция выполняется на специальном приспособлении, изображенном на рис. 8–6. В него вставляется оправка с требуемым размером радиуса закругления головки, и вокруг нее при помощи двух рукояток поворотом на 90° загибается заготовка. Изогнутый стержень показан на рис. 8–7. Придание секции требуемого очертания производится на специальном приспособлении, изображенном на рис. 8–8. На нем выполняется вся работа по загибу одновитковой секции из стержня как прямоугольной, так и квадратной меди. Приспособление, как видно из рисунка, зажимается в тисках. На длинной его части помещается собачка 2, которая может передвигаться вдоль рамы приспособления и закрепляться в любом положении болтами. На раме сбоку помещается пятиугольник 2, который при помощи болта может быть закреплен также в любом положении в зависимости от требуемого угла изгиба. Назначение собачки и пятиугольника – дать упор загибаемому стержню. К основной части приспособления прикрепляется конус 5, который имеет определенный угол, необходимый для данной секции. Конус прикреплен к основанию 5 болтом 4. Для загиба разных секций имеется набор конусов с различными углами. К основной части приспособления прикреплена подвижная пластинка 6 с нажимным болтом, служащая для закрепления головки секции. Чтобы придать определенный размер по длине, головку секции помещают на основание и зажимают при помощи пластины 6 и болта, как показано на рисунке. Ударами деревянного ручника делают сначала отгиб лобовой части одной стороны секции, а затем, перевернув ее, точно так же отгибают лобовую часть на второй стороне секции. На рис 8–9 изображен отгиб прямой (пазовой) части секции, на рис. 8–10 – отгиб лобовой части второй стороны секции; здесь головка упирается в собачку, закрепленную на приспособлении. На рис. 8–11 показан отгиб лобовой части секции со стороны коллектора. Для отгиба лобовой части верха секций с задней и передней сторон необходимо закрепляющую собачку отодвинуть влево на 5–8 мм. и этим увеличить длину верхней лобовой части по сравнению с нижней. Затем проверяют размеры загнутой секции. Установив их правильность по чертежу, изготовляют все остальные секции описанным способом. После изгиба сторон секции на деревянном шаблоне, изображенном на рис. 8–12, делают выгиб лобовых частей.

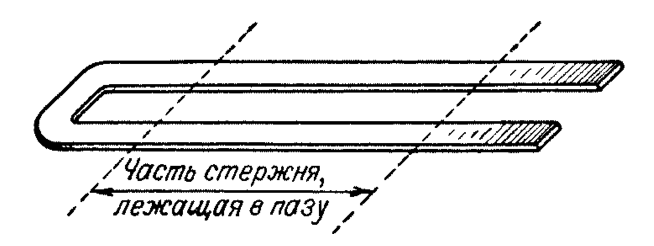


Рис. 8–7. Изогнутый стержень.

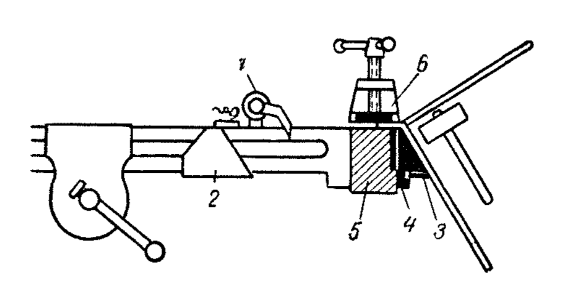


Рис. 8–8. Приспособление для выгиба секций.

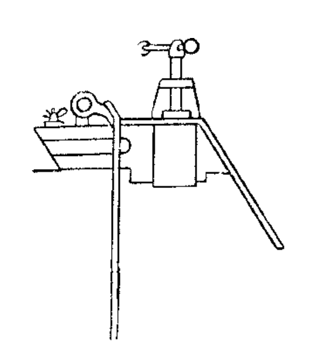


Рис. 8–9. Отгиб пазовой части секции.

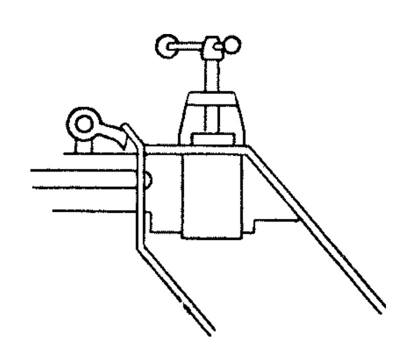


Рис. 8–10. Отгиб лобовой части секции.

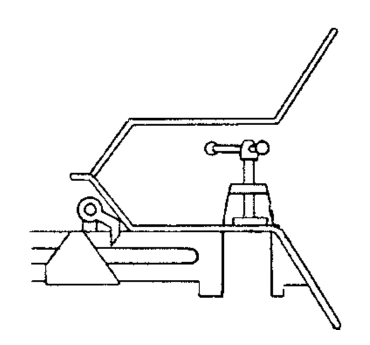


Рис. 8–11. Отгиб лобовой части секции со стороны коллектора.

Выгиб лобовых частей и обжим их с изоляцией для получения более равномерного размера в сечении можно также производить на пневматическом прессе давлением до 5 кг/см^2. Выгибом лобовой части обмотки достигается плотное и равномерное прилегание ее к изолированному обмоткодержателю.

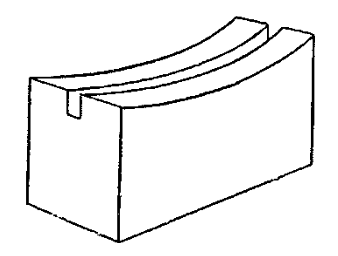


Рис. 8–12. Шаблон для выгиба лобовой части секции.

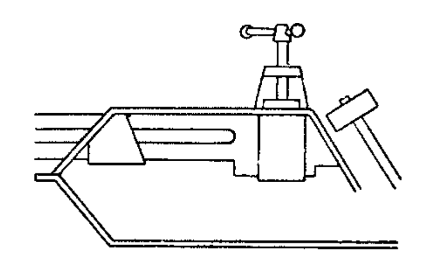


Рис. 8–13. Отгиб лобовой части секции петлевой обмотки.

После выгиба лобовых частей концам, идущим на соединение с коллектором, придают такое направление, чтобы они были параллельны пазовой части секций. Якорные секции или полусекции, изготовленные из голого провода, перед изолировкой проверяются на отсутствие заусенец. При необходимости их тщательно зачищают шлифной пилой и шлифовальной шкуркой. Секции или полусекции, состоящие из нескольких проводников, комплектуются вместе и в лобовых частях перевязываются хлопчатобумажной лентой. Здесь дано описание заготовки волновой обмотки, но на указанном приспособлении можно производить все операции по выгибу секций и петлевых обмоток (рис. 8–13).

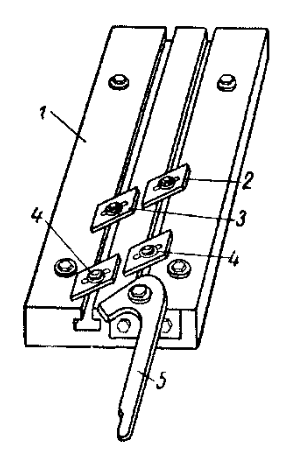


Рис. 8–14. Приспособление для изгиба полусекции.

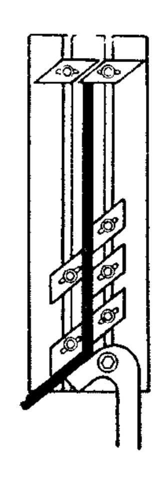


Рис.8–15. Отгиб лобовой части полусекции.

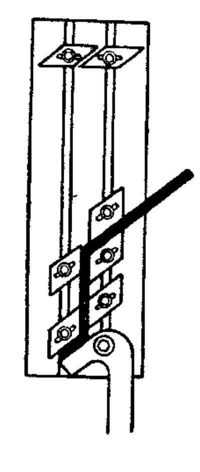


Рис. 8–16. Отгиб головки полусекции.

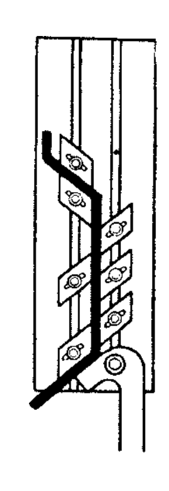


Рис. 8–17. Отгиб лобовой части полусекции.

При заготовке якорной обмотки, состоящей из полусекций, необходимо нарезать половину стержней на 5–10 мм. длиннее остальных. Из них выгибаются верхние полусекции; так как они расположены на якоре, на окружности большего радиуса, чем нижние, их лобовые части будут несколько длиннее нижних.

Отгибы лобовых и пазовых частей такой обмотки производятся на приспособлении, показанном на рис. 8–14. Оно представляет собой стальную плиту 7, имеющую два продольных паза, по которым можно передвигать пластины 2 и 3 и закреплять их при помощи болтов 4 в любом положении. К плите в начале паза прикреплен рычаг 5, которым прижимают отгибаемую часть стержня полусекции под определенным углом. Угол отгиба устанавливается положением пластин 2 и 3. На рис. 8–15 дано одно из положений пластин 2 и 3 на плите. Прижимая рычагом стержень к установленным пластинам 2 и 5, отгибают лобовую часть полусекции с одной стороны. Из рисунка видно, что прямой конец стержня упирается в задние пластины, а рычаг 5 отогнул лобовую часть. Перевернув секцию и придав ей положение соответственно установленными пластинами (рис. 8–16), отгибают конец с одной стороны полусекции. Установив затем планки, укладывают между ними стержень и отгибают лобовую часть второй стороны (рис. 8–17), после чего отгибают второй конец стержня, как указано на рис. 8–16.

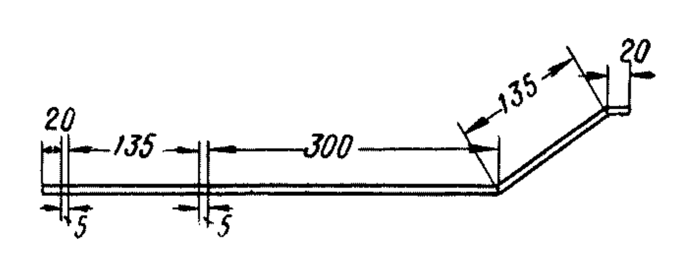


Рис. 8–18. Эскиз роторного стержня.

г. Придание формы лобовым частям.

Операция придания формы лобовым частям по заданному радиусу выполняется, как указано выше, на шаблоне рис. 8–12 или более совершенным способом – на пневматическом или эксцентриковом прессе. Эту операцию следует производить осторожно для катушек, ранее изолированных.

8–2. Изготовление стержневых обмоток роторов асинхронных двигателей.

Роторная стержневая обмотка состоит из одной или двух медных пластин прямоугольного сечения. В паз укладываются два таких стержня: один – на дно паза (нижний стержень), другой – сверху (верхний стержень). В зависимости от расположения стержней в пазу форма лобовых частей и размеры их несколько отличаются, что должно быть учтено при заготовке. Так, лобовая часть верхних стержней располагается поверх лобовых частей нижних, поэтому верхние стержни имеют закругление лобовых частей большего радиуса, и при нарезке меди длина их делается несколько больше, чем длина нижних. Прежде чем сделать заготовку стержней, необходимо подсчитать длину выпрямленного стержня. Для этого необходимо найти длину выпрямленной лобовой части, исходя из шага обмотки и радиуса изолированного обмоткодержателя. Кроме того, следует учесть длину двух закруглений, т. е. переходов от прямой части к лобовой, и двух закруглений – перехода от лобовой части к головке, т. е. к концам стержня. В виде примера на рис. 8–18 дан эскиз роторного стержня, согласно которому общая длина нижнего стержня состоит из: 1) длины двух концов, идущих в хомутики, равной 2×20 = 40 мм; 2) длины двух закруглений, т. е. переходов от концов к лобовой части, равной 2×5 = 10 мм; 3) длина выпрямленных лобовых частей, равной 2×135 = 270 мм; 4) длины двух закруглений, т. е. переходов от лобовой части к прямой пазовой части, равной 2×5 = 10 мм; 5) длины прямой пазовой части, равной 300 мм. Таким образом, общая длина заготовки нижнего стержня равна: 40 + 10 + 270 +10 + 300 = 630 мм. Для верхнего стержня длина заготовки берется на 20 – 30 мм. больше. Практически определяют длину большей заготовки – верхнего стержня и добавляют припуск 7–10 мм.

Тот же размер берется и для нижнего стержня. Незначительные излишки меди обрезаются при укладке. Обычно по полученным размерам изготовляют один нижний стержень и один верхний, по которым проверяют правильность размеров, прежде чем производить нарезку всего комплекта стержней. Изгиб стержней производится на приспособлении, указанном на рис. 8–14. На рис. 8–19 показан момент отгиба головки стержня (указано пунктиром), а на рис. 8–20 – момент отгиба лобовой части (также показано пунктиром). При отгибе лобовых частей верхних стержней следует учесть, что их длина должна быть больше нижних, а поэтому установка планок должна быть изменена. Лобовые части стержней изгибаются примерно под углом 120° по определенному радиусу. Выгиб производится на приспособлении, показанном на рис. 8–21. На это приспособление одновременно накладываются два стержня: один – верхний, укладываемый на сторону А, второй – нижний – на сторону Б, причем концы их должны быть вложены в отверстие В. Уложенным так стержням придается соответствующая форма ударами деревянного ручника. Придание отгиба лобовым частям нижнего и верхнего стержней производится также на деревянных шаблонах согласно рис. 8–12 или на пневматическом прессе в штампе. Последний прием обеспечивает более точную форму лобовых частей, что облегчает укладку. Если обмотка ротора должна быть выполнена с удлиненными переходами, то в зависимости от быстроходности машины и от числа пазов ротора некоторое количество стержней нарезается более удлиненными, чем нормальные (на 20 – 30 мм.), хотя практически и удобнее было бы брать одинаковые заготовки верхних и нижних стержней. Количество удлиненных стержней заготовляют, исходя из электрических данных.

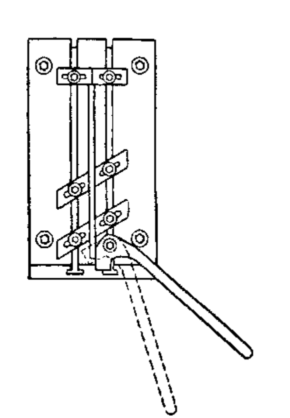


Рис. 8–19. Отгиб головки стержня.

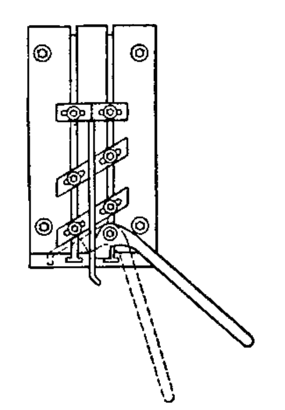


Рис. 8–20. Отгиб лобовой части.

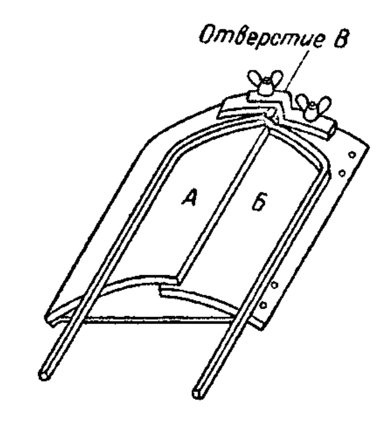


Рис. 8–21. Приспособление для выгиба лобовой части по радиусу.

8–3. Изолировка якорных катушек и роторных стержней асинхронных двигателей.

а. Изолировка якорных катушек, намотанных из изолированной меди (ПБД).

Изолировка ленточными материалами неразрезных якорных катушек производится вручную, а разрезных (в виде полусекций) на специальном изолировочном станке, описание которого дано ниже. Ролики ленточных материалов заготовляются диаметром 90–100 мм. При придании катушке формы, главным образом в местах загиба головки, портится хлопчатобумажная обмотка, поэтому при изолировке производится подъизолировка головок через виток батистовой лентой шириной 10 мм. вполнахлеста или резаным батистом длиной 100–120 мм. Хлопчатобумажная обмотка на выводных концах при лужении частично обгорает, поэтому выводные концы очищаются от обгоревшей обмотки при помощи ножниц, и оголенные места выводных концов изолируются хлопчатобумажной миткалевой или батистовой лентой вполнахлеста на необходимую длину.

После этого головка изолируется хлопчатобумажной, тафтяной, миткалевой или батистовой лентой и вся катушка заматывается временной защитной хлопчатобумажной киперной лентой и подвергается предварительной сушке в печи при температуре 100–120°С в течение 4 ч для удаления влаги из изоляции. Просушенные катушки, остывшие до температуры 50–60°С, подвергаются пропитке погружением в битумно–масляный лак №447 в течение 10–15 мин до полного прекращения выхода пузырьков воздуха. Затем катушки выгружают, дают стечь излишкам лака и снова загружают в печь при той же температуре в течение 4–5 ч. для окончательной сушки – удаления растворителя. Рекомендуется сушку производить в вакуумной печи; она более интенсивна, и длительность процесса сокращается. Просушенные катушки поступают на прессовку пазовых частей с целью получения правильного размера в сечении. Прессовка производится в холодных ручных или пневматических прессах, при этом киперная лента не снимается. В зависимости от сечения и длины пазовых частей подбираются прессапланки, обеспечивающие необходимые размеры. С опрессованной катушки снимается защитная киперная лента с остатками лаковой основы на ней и изолируется пазовая часть. Изоляционным материалом служит слюдяной материал – микафолий толщиной 0,12–0,15 мм. или синтофолий той же толщины. Исходя из общей толщины изоляции и толщины материала, определяют количество слоев, и по периметру катушки устанавливают ширину, к которой добавляют 0,5–1 оборот сверх расчетного с целью получения более плотной изоляции при прессовке ее в горячем виде. Заготовка нарезается в соответствии с расчетными размерами: А – длина, равная опрессованной части катушки или полукатушки (рис. 8–22); Б – ширина активного железа якоря + (6–10 мм). Для обмоток с вылетом пазовой изоляции от активного железа до 15 мм. берется 6 мм., а с вылетом более 15 мм. – 10 мм.; В – определяется из общей толщины изоляции периметра катушки и зависит от толщины слоя изоляции плюс 10% на ее уплотнение. Скос должен быть не менее 5 мм. Например, при длине опрессованной части 280 мм. и длине активной стали 240 мм. скос равен 280 – 250/2 = 15 мм. Нарезанная заготовка изоляции слегка подогревается на плите с паровым или электрическим подогревом и обертывается вокруг прямой (пазовой) части катушки. Намотка начинается со скошенной стороны. Разогретый микафолий или синтофолий становится эластичным и хорошо облегает катушку; накладывать изоляцию надо тщательно, без перекосов. Под край последнего оборота микафолия или синтофолия подкладывается телефонная бумага толщиной 0,05 мм. лакированная щеллачным или глифтале–бакелитовым лаком. Поверх лакированной бумаги пазовая часть катушки обертывается временной парафинированной телефонной бумагой шириной, равной двум–трем периметрам сечения пазовой части, и длиной, равной длине прямолинейной части. Парафинированная бумага предохраняет основную изоляцию от повреждений при горячей обкатке и прессовке. После прессовки она снимается. Сторона катушки, изолированная вышеуказанными материалами, закладывается в специальное ручное или механическое обкаточное приспособление между утюгом и плитами, нагретыми до температуры 200–220°С. Время обкатки 3–6 мин. Полукатушки обкатываются на механическом обкаточном станке (рис. 8–23). Этот станок состоит из станины 1 (с укрепленными на ней электродвигателем 2 и передней бабкой 3 с планшайбой) и обкаточной головки 4. Полукатушка 6 помещается между нажимным утюгом 7 и электронагревательными плитами 8 обкаточной головки. При помощи поводка 5, укрепленного на планшайбе передней бабки, полукатушка приводится во вращение. Электронагревательные плиты нагреваются током низкого напряжения 36 *в*.

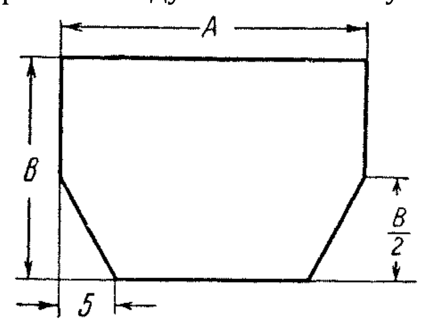


Рис. 8–22. Заготовка для изолировки якорных катушек.

При таком процессе наложенная изоляция разогревается, расправляется и отдельные слои ее плотно прилегают друг к другу, происходит удаление летучих веществ, выпечка. Механическая обкатка придает изоляции большую плотность.

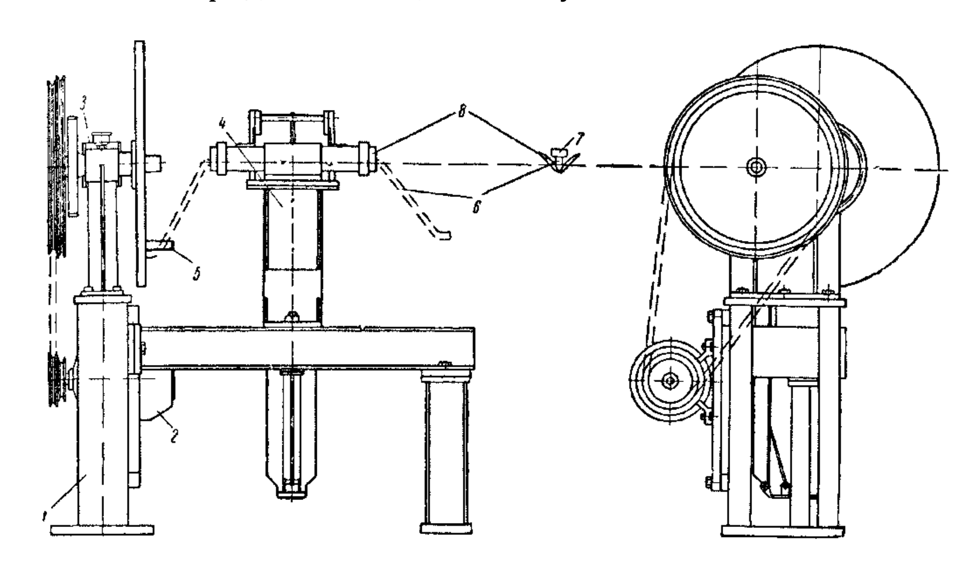


Рис. 8–23. Обкаточный станок.

После горячей обкатки сторона катушки закладывается в пресс–форму, предварительно установленную в ручном или пневматическом прессе и состоящую из комплекта пресспланок, подобранных по размеру сечения стороны. Эта прессовка осуществляется в холодном прессе. В том случае, когда требуется особая монолитность гильзы (плотность), после холодной прессовки вводится вторичная горячая прессовка в гидравлическом прессе (см. рис. 9–5) при температуре плит пресса 120–130°С и удельном давлении 20 – 40 кг/см^2 на широкую сторону. Время прессовки 10–15 мин. Все указанные операции повторяются и для второй стороны катушки. Прессовка придает гильзе определенный размер, форму и цементирует слои изоляции. Из пресса катушку вынимают после охлаждения ее до температуры окружающего воздуха. В противном случае изоляция получается недостаточно плотной и будет вспухать, что приведет к повышенным размерам и невозможности укладки в паз. Затем катушка проверяется по размерам. При внешнем осмотре не должно быть морщин, кромок. Лобовые части катушки изолируются батистовой миткалевой или стеклянной лентой. Перед отправкой на сборку ее подвергают испытанию на отсутствие витковых соединений и на диэлектрическую прочность.

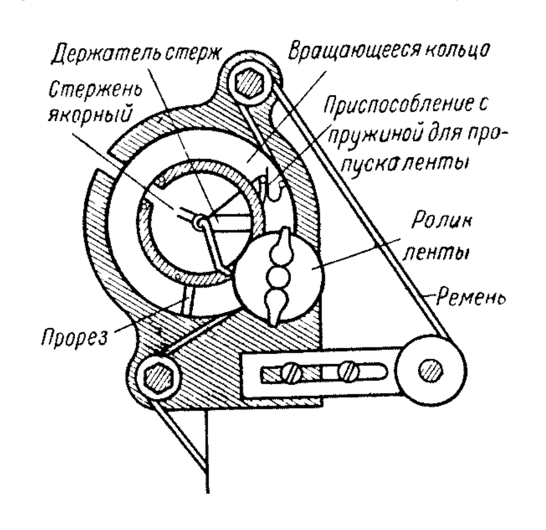


Рис. 8–24. Изолировочный станок.

б. Изолировка якорных стержневых обмоток из голой меди.

В большинстве случаев в качестве витковой изоляции стержневых якорных полукатушек из голой меди применяется слюдяная изоляция – микалента. Наложение микаленты может производиться как вручную, так и механическим путем на изолировочном станке (рис. 8–24). Перед изоляцией каждый проводник протирается тряпкой, смоченной в растворителе, и промазывается битумно–масляным лаком при помощи филеночной кисти. Витки при толщине менее 1,25 мм. изолируются только вручную. В обоих случаях применяется рольная микалента шириной 12 – 15 мм.

Диаметр ролика при ручной работе равен 90–100 мм. ролик большего диаметра неудобно держать в руке. При машинной изолировке диаметр ролика равен 120–150 мм. Наложение микаленты ведется вполнахлеста, начиная от загиба залуженных концов. Работа на изолировочном станке производится следующим образом. На станине станка находится кольцо, приводимое во вращение от электродвигателя посредством ремня. Кольцо имеет прорезь для прохода полукатушки или полусекции. На конце имеется ось, на которой можно укрепить ленту. Ролик с лентой, таким образом, будет вращаться вместе с кольцом и обегать вокруг изолируемой катушки или секции, наматывая на нее ленту. Передвигая секцию горизонтально, ленту наматывают по всей ее длине. В случае обрыва микаленты при изолировке надо так аккуратно сделать стык, чтобы на этом месте не было утолщений. Обычно при стыковании двух концов следует с последнего конца счистить слюду, приподнять его, подложить начало непрерывной микаленты и продолжать изолировку. Изолированные витки (витком может служить один или более проводников) комплектуют по разметке, сделанной при заготовке в полукатушку, и связывают в двух местах отходами хлопчатобумажной ленты. Нижние стержни, во избежание их спутывания связывают отдельно. Затем полукатушка по всей длине скрепляется временной киперной лентой в ⅓ нахлеста. По мере скрепления витков киперной лентой вязки снимаются. Сушка в печи производится при температуре 110 – 120°С около 8 ч. Цель сушки – удаление летучих веществ из микаленты. Рекомендуется применять вакуумную сушку. Высушенные полукатушки подвергаются прессовке в гидравлических пароводяных прессах (см. рис. 9–5) с температурой плит 120 – 130°С и удельным давлением 40 кг/см^2. Цель прессовки – получение определенных размеров пазовых частей. Лобовые части для выравнивания размеров подвергаются обжиму в специальном пневматическом обжимном приспособлении. Если в лобовой части имеется групповая изоляция – микалента (общая на секции), то сначала накладывается эта микалента, а затем лобовые части обжимаются. Корпусная изоляция может быть выполнена по двум вариантам.

Вариант 1. Применяется гильза из микафолия, накладываемая на пазовую часть в несколько слоев; аналогично тому, как указывалось выше. Изолированная полукатушка обкатывается в обкаточном станке (рис. 8–23), опрессовывается сначала в холодном прессе, а затем в горячем. В настоящее время для более ответственных машин, как, например, электродвигателей прокатных станов, внедряется термореактивная изоляция из стеклослюдопластофолия на эпоксидно – резольном связующем (см. §3–2). Время обкатки этой изоляции 1 – 2 мин при температуре 220 – 230°С, а после холодной прессовки производится термическая обработка в гидравлическом прессе при температуре плит 130 –140°С и удельном давлении около 40 кг/см^2 в течение 60 мин. При обкатке гильзы защитным временным покровом служит синтетическая триацетатная пленка 1,5 – 2 оборота и стеклянная ткань также 1,5 – 2 оборота. Последняя снимается после горячей обкатки, а пленка очищается после тепловой обработки в прессе. Синтетическая пленка толщиной 0,06–0,08 мм. придает блестящую поверхность гильзе.

Вариант 2. Непрерывно по всей длине стержня пазовая и лобовые части изолируются двумя–четырьмя слоями микаленты на битумно–масляном лаке №441 вполнахлеста и поверхностной защитной хлопчатобумажной или стеклянной лентой. При этом требуется тщательная изолировка с плотной затяжкой каждого оборота микаленты. Для предохранения изоляции от повреждений стержни обматываются временной киперной лентой в полнахлеста и подвергаются сушке в печи при температуре 100–120°С в течение 16 – 24 ч., в зависимости от количества слоев микаленты. Сушку рекомендуется производить под вакуумом. После сушки киперная лента со стержней снимается и проверяются размеры сечений пазовых и лобовых частей. Если размеры больше заданных, то стержни (полукатушки) подвергаются обжиму в гидравлических прессах при температуре плит пресса 120 – 130°С и удельном давлении около 10 кг/см^2.

Следует отметить, что электрическая прочность корпусной изоляции после ее опрессовки снижается почти в два раза по сравнению с не опрессованной изоляцией. Так, например, пробивное напряжение корпусной изоляции, состоящей из двух слоев микаленты толщиной 0,13 мм. наложенных вполнахлеста, в не опрессованном виде равно 10,5 *кв*, в опрессованном – от 5 до 6 *кв*. Монолитность микалентной изоляции при прессовке не достигается. Можно рекомендовать размеры в сечении пазовых частей стержней с допуском больше заданных до 0,3 мм. Такую полукатушку можно уложить в паз, так как при ее осадке (в пазовую коробочку) происходит обжим, и затруднений при укладке не наблюдается.

в. Изолировка якорных катушек или полукатушек с изоляцией на нагревостойких лаках.

1) *Изоляция на кремнийорганических связующих.*

Для изготовления катушек или полукатушек применяется голая обмоточная медь марки МГМ или провод марки ПСДК (провод с двумя слоями стекловолокна с подклейкой и пропиткой кремнийорганическими лаками). В первом случае витковой изоляцией служит один слой нагревостойкой стекломикаленты толщиной 0,13–0,15 мм. наложенной вполнахлеста. Голый провод для плотного прилегания изоляции перед изолировкой промазывается цементирующим кремнийорганическим лаком марки ЭФ–5 35–40% концентрации. Изолированные витки подвергаются сушке в электропечи при температуре 120–130°С в течение 3 ч. и при температуре 180–190°С в течение 4 ч. Якорные катушки или полукатушки из провода марки ПСДК подвергаются пропитке в пропиточном кремнийорганическом лаке марки ЭФЗБСУ, 35–40% концентрации, предварительно производится сушка их в электропечи при температуре 160–180°С в течение 4 ч. Способ пропитки – окунание (температура остывших секций должна быть 60°С). Последующая сушка после пропитки ведется при температуре 120–130°С в течение 3 ч. и при температуре 180–190°С в течение 3 ч. Можно провод ПСДК пропитывать не в якорных секциях, а в бухтах или в заготовках. Наряду с лаком ЭФЗБСУ применяется кремнийорганический пропиточный лак К–47 (35–45% концентрации). Последний по свойствам более стабилен и сушка ведется при несколько пониженной температуре. Так, сушка до пропитки при t = 120° – 2 ч, после же пропитки при t = 120° – 2 – 3 ч. и t = 150° – 1 ч. – 2 ч. (в зависимости от габаритов). До пропитки между витками прокладывается гибкий нагревостойкий миканит или стекломиканит толщиной 0,15–0,20 мм. и вся катушка заматывается временной стеклянной лентой. Миканитовая прокладка между витками применяется также, когда витки изолированы стекломикалентой. Высушенные изделия подвергаются прессовке обычным способом в пароводяных гидравлических прессах. Далее производится наложение корпусной изоляции, которая может состоять из двух–трех слоев стекломикаленты толщиной 0,13–0,15 мм., наложенной вполнахлеста непрерывно по всей длине пазовой и лобовых частей. Причем лобовые части имеют на один слой изоляции меньше, чем пазовые. Слои стекломикаленты промазываются цементирующим кремнийорганическим лаком марки ЭФ–5. Каждый оборот стекломикаленты затягивается плотно рукой. Другой разновидностью изоляции от корпуса является гильза из стекломикафолия толщиной 0,15–0,20 мм. в пазовой части и стекломикаленты в лобовых частях. Защитной поверхностной лентой служит стеклянная лента, пропитанная в лаке ЭФ–ЗБСУ или липкая стеклолента. Процесс изолировки ленточными или листовыми стеклослюдяными материалами не отличается от указанного выше, но эта изоляция требует термической обработки при более высоких температурах и длительном времени. Так, корпусная изоляция из стекломикаленты сушится при температуре 120–130°С в течение 3 ч, а при температуре 180 – 190°С – 6 ч.

Если в качестве промазочного лака употребляется лак К–47, то сушку корпусной изоляцией ведут по режиму: при t = 120° – 3 ч. и при t = 150° – 2 – 4 ч. (в зависимости от габаритов). Если изоляция обмотки после окончательной сушки имеет отлип, следует провести дополнительную сушку в течение 1–2 ч. при t = 150° или t = 180° (в зависимости от разновидности примененного лака). В процессе сушки изоляция несколько разбухает и для получения размеров в пределах допусков требуется ее подпрессовка. Для этого стороны изолированной катушки или полукатушки закладываются в пресс и при температуре плит пресса 120–130°С выдерживаются в течение не менее 5–7 мин. Затем изоляция обжимается давлением не более 8 кг/см^2. Производить прессовку при более высоком давлении не рекомендуется, так как это резко снижает электрическую прочность изоляции. Защитной временной лентой при прессовке служит киперная, которая накладывается после снятия стеклянной временной ленты. Стекломикафолиевая изоляция обкатывается в обкаточном станке (рис. 8–23) при температуре щек 270–280°С в течение 15–20 мин в зависимости от числа слоев стекломикафолия. С целью предохранения изоляции от повреждения при обкатке поверх стекломикафолия накладывается несколько слоев стеклянной ткани, которая снимается после опрессовки. Если стеклоткань в процессе обкатки протерлась, ее необходимо сменить и продолжать обкатку до установленного времени. Прессовка обкатанной гильзы производится в холодных ручных или пневматических прессах. В случае невозможности получения необходимых размеров допускается вторичная прессовка в горячих прессах. Удельное давление при этом около 20 кг/см^2. Лобовые части изолируются после прессовки стекломикалентой с промазкой каждого слоя лаком марки ЭФ–5 и защитной стеклянной лентой.

2) *Изолировка на глифталевых лаках.*

В некоторых случаях связующим веществом для стеклослюдяной изоляции служит глифталевый лак. Эта изоляция хорошо противостоит тропическому климату. В качестве провода для катушек или полукатушек берется медь марки ПСД (провод стеклянный двойной на глифталевом лаке) или провод голый марки МГМ. Пропиточным веществом для обмоток, изготовленных из провода ПСД, является меламино–глифталевый лак вязкостью 2 – 2,5% по Дулитлу при температуре 20°С. Предварительная сушка производится в течение 2 ч при температуре 100 – 120° С и последующая – после пропитки, сначала на воздухе 30 мин, затем в течение 3–5 ч. при температуре 100 – 120°С до прекращения отлипа поверхности. Если катушка или полукатушка изготовлена из голой меди, то витковая изоляция состоит из одного слоя стекломикаленты на глифталевом лаке. Сушка таких обмоток ведется при температуре 100 – 120°С в течение 3–4 ч. Просушенные изделия прессуются, затем накладываются 2–3 слоя стекломикаленты на глифталевом лаке на пазовые части и 1–2 слоя на лобовые. После этого изолированные катушки сушатся при температуре 100–120°С 5–6 ч. В случае применения для корпусной изоляции стекломикафолия на глифталевом лаке производится процесс обкатки в течение 5–7 мин при температуре 220–230°С и холодная запрессовка.

8–4. Изолировка роторных стержней.

а. Изолировка стержней на напряжения до 600 *в*.

Роторные стержни перед укладкой в пазы должны иметь готовую изоляцию, обычно опрессованную пазовую часть и изолированные хлопчатобумажной или другой лентой лобовые части. Стержни в зависимости от напряжения на контактных кольцах ротора изолируются различными материалами. Наложенная на пазовую часть стержня изоляция подвергается выпечке двумя способами:

1) способом опрессовки в горячем прессе (ручном или гидравлическом) при температуре плит 120–130°С;
2) более совершенным способом обкатки в обкаточном станке при температуре 200–230°С с последующей запрессовкой в холодном пневматическом прессе с водяным охлаждением плит. Изоляция роторных стержней для напряжений до 300 *в* показана на рис. 8–25. До наложения изоляции необходимо сделать разметку, т. е. отметить на прямой части каждого стержня линию, до которой следует изолировать лобовую часть, так как лобовая и пазовая части имеют различную изоляцию. Разметка (рис. 8–26) производится по ранее заготовленному из картона шаблону, который стороной ОР прикладывают к загнутой лобовой части и наносят острым предметом на стержне риски по К, М и Н либо на специальном приспособлении, показанном на рис. 8–27.

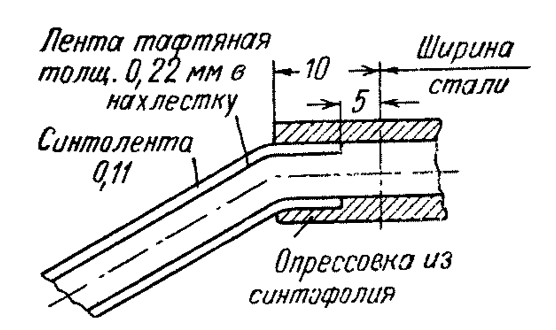


Рис. 8–25. Изоляция роторных стержней для напряжений до 300 *в*.

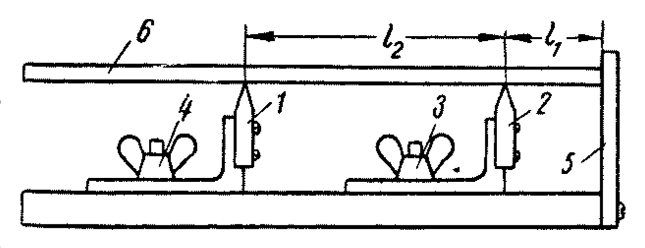


Рис. 8–26. Шаблон для разметки роторных стержней.

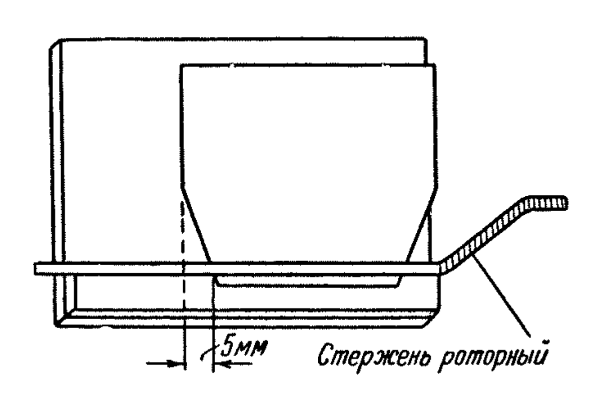


Рис. 8–27. Приспособление для разметки роторных стержней.

Приспособление имеет стальное основание, на котором сверху проделан паз, где могут передвигаться два стальных острия 1 и 2, закрепляемые в необходимом положении барашками 3 и 4. К концу стального основания привинчена стальная вертикальная пластинка 5. Конец стержня 6 упирается в вертикальную пластинку 5 и своей плоскостью лежит на остриях 1 и 2, которые на нем наносят риски в виде тонких линий. Расстояние l_1 служит концом стороны стержня, которая войдет в хомутик при соединении. Расстояние l_2 – длина, которую следует изолировать. Размеченные таким образом стержни протираются влажной тряпкой, смоченной в растворителе, и поступают на изолировку лобовых частей синтолентой толщиной 0,11 мм. Начинают изолировку со стороны выводных концов. Не доходя 5 мм. до первой риски на пазовой части стержня, поверх изоляции, пропитанной в битумно–масляном лаке, накладывают хлопчатобумажную ленту шириной 15–20 мм. и толщиной 0,22 мм. Наложение лент ведется вполнахлеста. Начало ленты срезается под углом 40–45°. Заканчивают намотку у крайних рисок. Ленты накладываются вручную или на специальном изолировочном станке, который вместе со вложенным стержнем показан на рис. 8–24. Ленты накладываются вручную или на специальном изолировочном станке, который вместе со вложенным стержнем показан на рис. 8–24. Стержни с изолированными лобовыми частями сушатся на воздухе в течение 16 ч или в печи при t = 100°С в течение 3 ч.

Рис. 8–28. Навертывание синтофолия.

Полученная изоляция не должна иметь отлипа при нажатии пальцем. Пазовая часть стержней обертывается синтофолием толщиной 0,18 мм. при общей толщине 1,4 мм. Во избежание утолщения изоляции в месте соприкосновения с лентой заготовку синтофолия, нарезают на конус с двух сторон до половины ширины заготовки, как показано на рис. 8–28. Благодаря этому в той части, где синтофолий ложится на хлопчатобумажную ленту, получается более равномерная толщина изоляции. Завертка стержней в синтофолий производится на приспособлении, показанном на рис. 8–28 и представляющем собой доску, к которой прибита деревянная планка. Доска и планка обиты белой жестью. Предварительно стержень покрывают клеящим лаком, однородным лаку, на котором изготовлен синтофолий, и дают подсохнуть на воздухе в течение 5–10 мин. Начало синтофолия приклеивают к меди и для лучшего прилегания проглаживают поверхность рукой. Затем поджимают стержень левой рукой к планке приспособления и начинают вращать его правой рукой за отогнутую сторону; синтофолий при этом плотно наворачивается на стержень. Под край последнего оборота синтофолия подкладывают лакированную телефонную бумагу на глифтале–бакелитовом или шеллачном лаке и навертывают ее на стержень, создавая общую толщину 0,1 мм. при толщине одного слоя лакированной бумаги 0,07 мм. Поверх лакированной бумаги накладывается несколько слоев парафинированной бумаги, которая после прессовки снимается и служит лишь защитой основной изоляции от механических повреждений при процессах обкатки и прессовки. Синтофолий эластичен, применяется наряду с микафолием. Гильза из него – монолитная, хорошо поддается технологической обработке (обкатке и прессовке), после которой приобретает большую плотность по сравнению с микафолием и меньше подвергается разбуханию при длительном хранении. Размеры изолированного стержня могут иметь отклонения по толщине ± 1 мм. и по высоте ± 0,15 мм. Далее, стержни, изолированные в пазовой части, поступают на обкатку в обкаточном станке при температуре 200–230°С в течение 6–8 мин. Вращение стержня должно совпадать с направлением намотки изоляции стержня. После горячей обкатки стержень закладывается в холодный пневматический или ручной пресс для окончательной запрессовки – придания определенных размеров. При длительном хранении изолированных стержней рекомендуется после холодной прессовки дополнительно прессовать в горячих прессах.

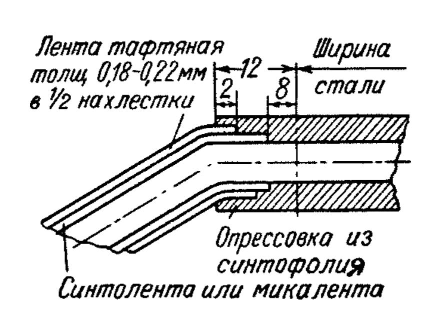


Рис. 8–29. Изоляция роторных стержней для напряжений 500 – 2000 *в*.

б. Изолировка стержней на напряжения от 500 до 2000 *в*.

Изолировка роторных стержней с напряжением на контактных кольцах от 500 до 2000 *в* производится следующим образом. Лобовые части изолируются:

1) для напряжения до 1000 *в* – двумя слоями синто ленты толщиной 0,11 мм. наложенной вполнахлеста, и одним слоем хлопчатобумажной ленты толщиной 0,22 мм.

2) для напряжения свыше 1000 и до 2000 *в* – двумя слоями микаленты толщиной 0,13 или 0,17 мм. вполнахлеста и сверху хлопчатобумажной лентой толщиной 0,18 мм. наложенной также вполнахлеста. Концы лент оканчиваются на пазовой части ступенчатообразно (рис. 8–29). После нанесения изоляции на лобовые части изолируется пазовая часть. Изоляция для напряжений от 500 до 1000 *в* (в зависимости от условий работы) может состоять из синтофолия толщиной 0,18 мм. (при общей толщине изоляции 1,4 мм.), поверх синтофолия – лакированной телефонной бумаги общей толщиной 0,1 мм. или микафолия толщиной 0,2 мм. (при общей толщине 1,4 мм) и лакированной телефонной бумаги общей толщиной 0,1 мм.

При напряжении выше 1000 *в* в пазовой части применяется микафолий толщиной 0,18 мм. при общей толщине изоляции 2,3 мм. и лакированная телефонная бумага общей толщиной 0,1 мм. Для более удобной укладки стержней в пазы зазор на укладку по ширине паза для стержней напряжением до 1000 *в* – 0,2 мм. выше – 0,3 мм; по высоте паза – для всех напряжений 0,5 мм. Процесс наложения пазовой изоляции аналогичен предыдущему.

в. Изолировка стержней нагревостойкой кремнийорганической гильзовой изоляцией для напряжения более 1000 *в*.

Каждый проводник стержня протирают влажной тряпкой, смоченной в растворителе, затем промазывают лаком ЭФ–5 и после просушки на воздухе проводники комплектуются в стержень, и пазовая часть скрепляется стеклянной лентой вразбежку. Лобовые части изолируются тремя слоями стекломикалентой толщиной 0,15 мм. вполнахлеста с промазкой каждого слоя лаком ЭФ–5. Пазовая часть – стекломикафолием толщиной 0,2 мм. двусторонняя толщина 3,2 мм. Сушка изоляции пазовых частей при t = 120° в течение 3 ч. Поверх, как временная защита при обкатке, наносятся 4–5 оборотов стеклоткани. Продолжительность обкатки 30 мин при t = 250–270°C. Если стеклоткань в процессе обкатки протирается, ее следует сменить на новую и продолжать обкатку до установленного времени. Затем следует холодная опрессовка в пневматическом или в гидравлическом прессе до полного охлаждения. В случае неполучения нужных размеров, необходимо произвести вторичную опрессовку в пароводяных прессах при t = 110–120°C в течение 10–15 мин. По всей длине стержня накладывается стеклянная лента толщиной 0,12 мм. пропитанная в лаке К–47, с нахлестом по чертежу (обычно впритык в пазовой части и вполнахлеста в лобовых).

8–5. Изготовление уравнительных соединений.

а. Заготовка меди для вилкообразных уравнительных соединений.

Вилкообразные уравнительные соединения применяются чаще в петлевых обмотках. Они устанавливаются на стороне, противоположной коллектору. Из меди нарезаются стержни такой длины, которая соответствовала бы длине уравнительной секции (ее размеры берутся по чертежу). Затем они поступают на рихтовку, после чего концы стержня загибаются на приспособлении для изгиба головок на ребро, как указано на рис. 8–5. Далее секция поступает на лужение концов, после которого выполняют выгиб секции таким же образом и на том же приспособлении. Изогнутая уравнительная секция поступает для выгиба по радиусу, что производится на деревянном шаблоне (см. рис. 8–12). Изготовленная секция показана на рис. 8–30.

б. Изолировка уравнительных секций.

Изолировка уравнительных секций производится следующим образом. Отступая от концов на 20–25 мм. ее изолируют по направлению к головке лакотканевой лентой или микалентой вполнахлеста. Стыки ленты делаются всегда на прямой части. Поверх лакоткани наматывается хлопчатобумажная лента тоже вполнахлеста. Ширина обеих лент берется не более 15 мм.

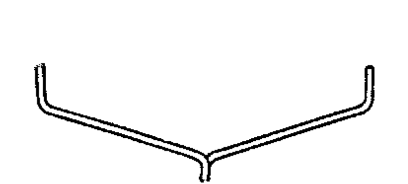


Рис. 8–30. Секция уравнительного соединения.

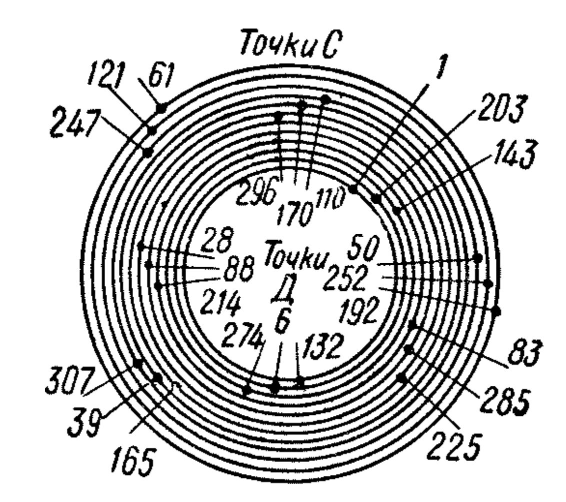


Рис. 8–31. Схема уравнительного соединения.

Также применяется стеклослюдяная изоляция на теплостойких лаках. В этом случае изолированные уравнительные соединения подвергаются следующей термической обработке:

Температура, °С	Время обработки, ч.	Вид изоляции
120	3	Стекломикалента с кремнийорганическим связующим
180	2	Глифталевая
100 – 120	3 – 4	Стекломикалента

Для уравнительных колец применяется медь прямоугольного сечения. Заготовки медных полос нарезаются согласно чертежу и затем рихтуются. Каждую нарезанную полосу сгибают в кольцо и склепывают заклепками. Для примера на рис. 8–31 дана схема уравнительных соединений. Как видно из схемы, кольца входят одно в другое. Это условие необходимо учесть при заготовке медных полос. Нарезанные полосы меди размечаются по концам, согласно указаниям на чертеже под сверловку отверстий для заклепок). Места клепки зачищаются от острых углов и опиливаются пилой. Склепанные концы залуживаются в оловянной ванне. При заготовке уравнительных колец нужно учитывать утолщение мест склепок, а также изоляцию колец по окончании всех слесарных работ.

г. Изолировка уравнительных колец.

Вначале изолируются выводные концы от каждого кольца. В качестве изоляции применяют батистовую ленту. Затем изолируют кольца лакотканевой лентой толщиной 0,20 мм. вполнахлеста один раз и поверх нее – хлопчатобумажной лентой. После этого все кольца комплектуются вместе, т. е. одно кольцо вкладывается в другое, и между ними помещаются электрокартонные прокладки толщиной 0,5 мм. Поверх наружного кольца кладется электрокартонная прокладка толщиной 1 мм.; такой же толщины прокладки ставятся и на внутреннее кольцо. Далее с обеих боковых сторон прокладывается электрокартон с вырезом для выводов, после чего все кольца вместе изолируются хлопчатобумажной лентой (киперной) и считаются готовыми для установки на якоре.

8–6. Изготовление деталей соединения роторной обмотки.

Для изготовления деталей соединения применяется главным образом плоская медь прямоугольного сечения. Нарезка основных полос производится согласно чертежам. Нарезанные полосы рихтуются на стальной плите. Звезда или нулевая шина (рис. 8–32), соединяющая три фазных конца обмотки ротора, представляет собой полосу плоской меди, согнутой дугообразно на 240°. К концам шины и к ее середине приклепываются токоотводы, изготовляемые из полос меди, сечение которых должно быть не меньше сечения стержня. На рисунке видно, что к токоотводам в верхней части приклепаны при помощи медных заклепок хомутики, изготовляемые из меди меньшего сечения. Хомутики и места заклепок обслуживаются в оловянной ванне, после чего звезда считается готовой. Соединительные вилки или "поперечки" (рис. 8–33) изготовляются примерно так же, как и звезда, с той лишь разницей, что у них имеется только два токоотвода для соединения со стержнями. Размеры поперечек много короче, чем звезды.

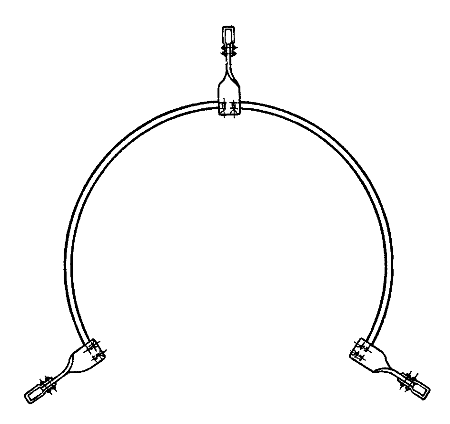


Рис. 8–32. Нулевая шина.

Другая конструкция переходных соединений (поперечек) изображена на рис. 8–34. Эта деталь изготовляется из той же роторной меди и состоит из головки а и двух ножек $б_1$ и $б_2$. Головка лежит всегда снаружи и помещается на обмоткодержателе. Ножки средней своей частью лежат в пазах ротора, а концы их выходят наружу на другую сторону, где и изгибаются так же, как и концы роторных стержней. Звезда и соединительные вилки изолируются одинаково – один раз вполнахлеста лентой из лакоткани толщиной 0,15–0,20 мм., а в местах изгибов – в три четверти нахлестки. Изолировку начинают от наружного края, т. е. от одного хомутика до другого. Наложив лакотканевую ленту со всех четырех сторон, как звезду, так и поперечки покрывают полосками электрокартона и изолируют хлопчатобумажной лентой вполнахлеста, а в местах изгибов в три четверти нахлестки. Покрытие полосками электрокартона деталей соединения предохраняет последние от механических повреждений, могущих произойти при соприкосновении с неровностями металлических частей обмоткодержателя во время работы машины. Поперечки (переходные стержни) в головках изолируются аналогично звезде и соединительным вилкам. Ножки $б_1$ и $б_2$ изолируются, так же как и пазовая часть стержней ротора, в зависимости от рабочего напряжения.

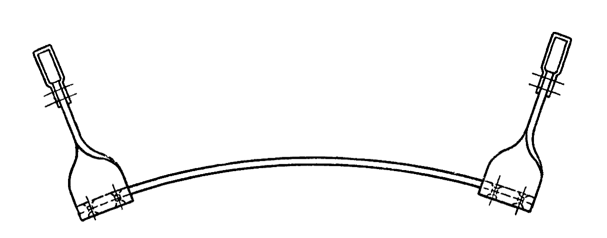


Рис. 8–33. Соединительная вилка.

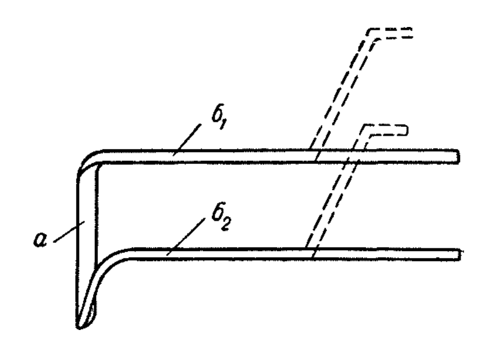


Рис. 8–34. Переходные стержни.

Глава девятая изготовление катушек статорных обмоток.

9–1. Изготовление катушек шаблонной однослойной обмотки крупных машин.

Изготовление катушек однослойной обмотки может производиться двумя способами. По первому способу намотка катушки производится на так называемом макете – деревянной модели статорной стали. При этом способе вся работа производится вручную таким же порядком, как и при выполнении обмоток – способом протяжки (см. гл. 12). Разница заключается в том, что изготовленная в макете катушка вынимается из него и затем вкладывается в пазы статорной стали, в то время как катушки протяжной обмотки наматываются непосредственно в пазах статорной стали. По второму способу намотка катушек производится не вручную, а на станках – с помощью специальных шаблонов. Этот способ является значительно более производительным и не требует такой высокой квалификации, как намотка катушек на макете. Ниже дается описание обоих способов.

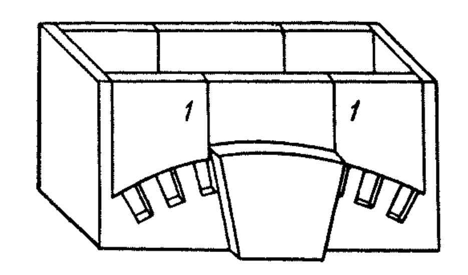


Рис. 9–1. Деревянный макет.

а. Заготовка катушек на макете.

Макет для намотки нижних катушек представлен на рис. 9.1. Наверху над пазами установлены запоры 1 для укрепления гильзы в пазах. В гильзы вкладываются деревянные шпильки и крючки, между которыми протаскивается проводник. Перед намоткой второй и третьей катушек между ними для сохранения расстояния ставятся деревянные прокладки. До изготовления макета должны быть определены все размеры катушек так, как это описано в гл. 5, ибо согласно им изготовляется макет. После намотки всех катушек катушечной группы они вынимаются из макета и поступают на изолировку. Намотка катушек в макете имеет целый ряд преимуществ перед намоткой их непосредственно в статоре, а именно:

1) заготовка катушек может производиться заранее, параллельно со сборкой статорной стали, что ускоряет процесс изготовления машины;
2) размеры всех катушек получаются строго выдержанными;
3) укладка проводников производится сверху и видна обмотчику;
4) при намотке катушек непосредственно в статоре его пришлось бы несколько раз поворачивать, так как производить намотку катушек в пазах, расположенных сверху и сбоку, неудобно.

б. Намотка катушек на станке.

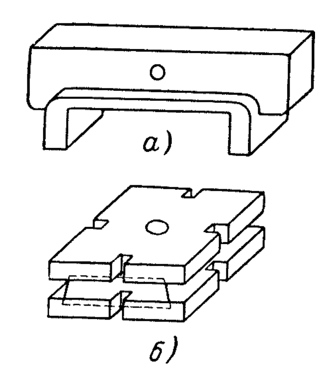


Рис. 9–2. Деревянный шаблон.

Здесь мы опишем заготовку катушек на деревянных шаблонах, укрепляемых на обыкновенных лобовых станках. Размеры шаблонов устанавливаются согласно вычисленным размерам катушек. Если, например, катушечная группа состоит из четырех катушек, то для каждой катушки должен быть свой шаблон. На рис. 9–2, а показан шаблон для катушек с отогнутой лобовой частью (внутренний ряд катушек на рис. 5–6). На рис. 9–2, б изображен шаблон для катушек с прямой лобовой частью (внешний ряд на рис. 5–6). При напряжении между соседними витками свыше 50 *в* применяют прокладки между рядами витков. Прокладкой служит пропитанный в масле электрокартон или гибкий миканит толщиной 0,2– 0,3 мм.

На рис. 9–3 показан разрез паза с поперечной укладкой проводников, между слоями которых проложены горизонтальные прокладки. Статорная обмотка для машин небольшого напряжения выполняется с вертикальными прокладками между рядами. Намотка нижних катушек производится следующим образом. Бухта с проводником кладется на вертящийся барабан, откуда проводник идет через зажим, сделанный из двух планок, стянутых болтами, между которыми укладываются два слоя фибры.

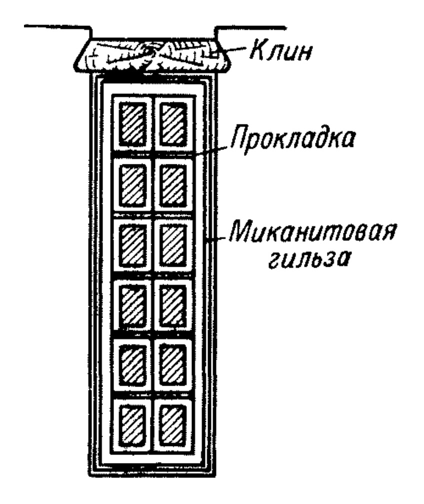


Рис. 9–3. Разрез паза.

Проводник проходит к станку. Посредством зажима создается известное натяжение и выравнивание проводника. Начальный конец длиной около 0,5 м., служащий в дальнейшем для вывода, укрепляется в планшайбе. В процессе намотки для лучшего прилегания витков к шаблону их все время осаживают при помощи фибрового клина и ручника. Пусть обмотка катушек должна быть выполнена поперечной укладкой, согласно рис. 9–3, и между горизонтальными рядами должна быть проложена изоляционная прокладка. В этом случае первые два витка, составляющие один ряд со стороны выходных концов, укладываются на шаблон нормально. Третий виток укладывается с переходом во второй ряд, причем переход делается на отложной лобовой части катушки. Затем либо под переход подкладывают электрокартонную прокладку, либо это место изолируют лентой из лакоткани. Четвертый виток укладывается на место временно проложенной прокладки из проводника того же сечения. Пятый и шестой витки наматываются нормально, без переходов, а седьмой и восьмой опять с переходами и т. д. Между горизонтальными витками, как было указано выше, ставятся в прямой пазовой и лобовой частях изоляционные прокладки из электрокартона толщиной 0,3 мм. у

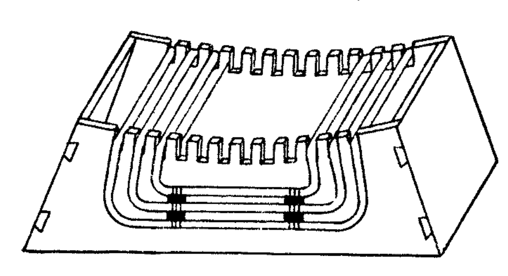


Рис. 9–4. Деревянный макет.

которые после намотки катушки заменяются прокладками из гибкого миканита той же толщины. Прокладки из гибкого миканита не ставятся сразу, так как они слишком хрупки и могут быть повреждены при осадке. После намотки необходимого числа витков (в данном случае 12) катушку связывают в 6–8 местах хлопчатобумажной лентой, положенной перед намоткой на шаблон под первые витки катушки. Это необходимо для крепления витков и сохранения необходимой формы катушки. Затем конец проводника отрезают от бухты меди и катушку снимают с шаблона. Таким же образом наматывают остальные катушки нижней катушечной группы. Вид шаблона для намотки верхних катушек показан на рис. 9–2, *б*. Скос пазовых сторон шаблона делается для того, чтобы стороны катушки не были параллельны, так как они закладываются в пазы по окружности статора, диаметр которого по верху пазов меньше, чем по низу. Намотанные катушки после снятия с оправки укладываются в пазы деревянного макета (рис. 9–4), выполненного соответственно пазам статора для проверки правильности их изготовления. При примерке катушек в деревянном макете в пазы подкладывают картон. По толщине он должен равняться миканитовой опрессовке (будущей изоляции), которая будет наложена впоследствии на пазовую часть обмотки. Изготовленные катушки передаются на последующие операции – изолировку, компаундировку, опрессовку и т. д., которые описаны ниже.

в. Изолировка катушек, намотанных на станке.

После снятия катушек со станка временные электрокартонные горизонтальные прокладки заменяются миканитовыми толщиной от 0,20 до 0,30 мм. после чего каждая катушка в пазовой и лобовой частях изолируется хлопчатобумажной лентой шириной от 30 до 50 мм. один раз вполнахлеста. Затем катушки комплектуются по катушечным группам, для чего их укладывают в макет. Между соседними катушками в прямой (пазовой) части прокладывают длинные деревянные планки толщиной, равной длине зуба стали статора плюс двойная толщина стенки миканитовой изоляции катушки, которая будет наложена после компаундировки. Деревянные планки укрепляются двумя бандажами из шпагата на каждую сторону. В лобовых частях с обеих сторон между отдельными катушками ставят временные картонные прокладки, которые скрепляют временными же веревочными бандажами. Скрепленные указанным способом скомплектованные катушки поступают на компаундировку.

г. Компаундировка катушек.

Катушки укладываются на металлические стеллажи, прикрепляются к перекладинам киперной лентой и загружаются в компаундировочный котел с плотно закрывающейся крышкой, но с открытым краном трубопровода, соединяющего котел с атмосферой в течение 3 ч при температуре 155–165°С. Затем сушка продолжается при этой же температуре, но под вакуумом, не менее 720 мм. рт. ст. в течение 2 ч. Из смесительного котла впускают в компаундировочный котел компаундную массу, подогретую до температуры 155–165°С. Когда масса покроет все уложенные катушки (за этим наблюдают через смотровое окно на крышке котла), кран смесительного котла закрывают и нагнетают азот из азотосборника до давления не менее 7 кг/см^2 и держат это давление в течение 3 ч. После этого открывают кран и перегоняют компаундную массу обратно в смесительный котел. Открывают крышку компаундировочного котла и при помощи крана выгружают стеллажи с катушками и устанавливают их для охлаждения на воздухе или для более интенсивного охлаждения катушки поливают водой из специальной дождевой установки, зимою засыпают снегом. На некоторых заводах имеются баки, куда опускаются кареты с горячей обмоткой и впускается проточная вода для охлаждения. Разборку компаундированных катушек, во избежание порчи их формы, производят только после полного охлаждения.

д. Предварительная опрессовка катушек.

С остывших катушек снимают все временные бандажи, удаляют деревянные прокладки между катушками, отделяют их друг от друга и снимают картонные прокладки. Затем катушка по всей длине заматывается временной киперной лентой в ⅓ нахлестки и подвергается опрессовке в гидравлическом пароводяном прессе (рис. 9–5). Гидравлический пресс состоит из станины 1, на которой установлены два контрфорса 2 и два блока 3. Каждый блок состоит из горизонтального и вертикального цилиндров. Катушка 4 закладывается в пресс–форму, соответствующую размерам пазовых частей, и помещается между двумя пароводяными плитами 5. Пресс–форма состоит из верхней давящей планки 6, двух боковых щек 7 и двух пресспланок 8 и 9. Боковое давление передается через пароводяные плиты и дистанционную прокладку 10 на пресс–форму. Сверху давление передается непосредственно на верхнюю планку пресс–формы через дистанционную прокладку. Прессовку можно также производить в ручном прессе. Удельное давление при прессовке составляет около 40 кг/см^2, температура плит 120–130°С. Эта опрессовка необходима для придания катушкам соответствующих размеров по ширине и высоте и для удаления излишков компаундной массы.

Доведя ширину и высоту катушки до нужного размера, ее вынимают из пресса, рихтуют в деревянном шаблоне, проверяют шаг обмотки в макете, затем снимают киперную ленту и приступают к наложению корпусной изоляции. Рекомендуется перед наложением корпусной изоляции проверить электрическую прочность витковой изоляции по существующим нормам для данной конструкции. Этим самым проверяется отсутствие дефектов, которые могли появиться в результате прессовки или других операций.

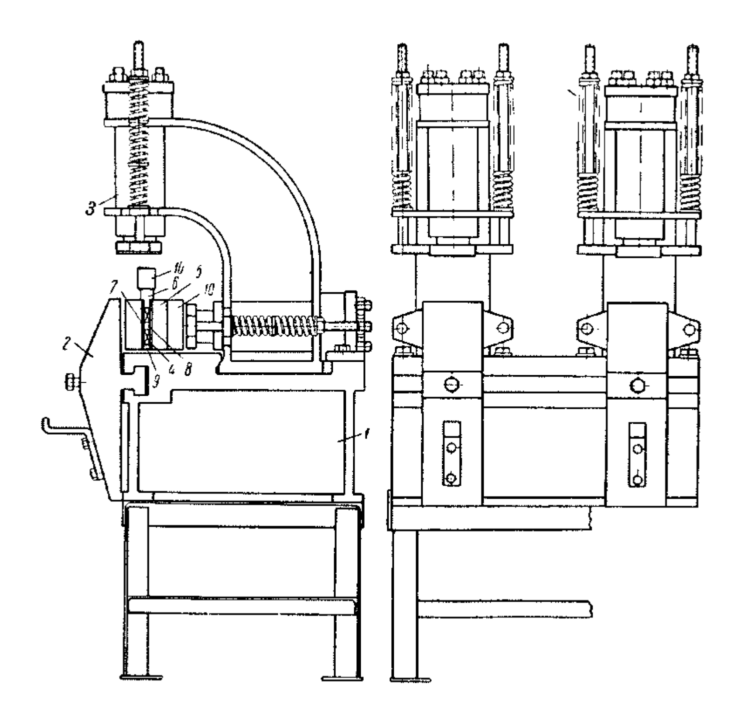


Рис. 9–5. Гидравлический пароводяной пресс.

е. Наложение гильзовой изоляции на пазовую часть катушки для напряжений выше 500 *в*. Опрессовка и выпечка.

До наложения изоляции от рулона микафолия отрезают кусок требуемого размера, ширина куска должна быть равна длине гильзовой опрессовки, а длина определяется в зависимости от размеров, поперечного сечения катушки. Для чего подсчитывают длину среднего периметра опрессовки и умножают ее на число слоев микафолия. От рулонного микафолия толщиной 0,25–0,3 мм. отрезают кусок соответствующего размера. Нарезанный микафолий наматывают в пять оборотов на пазовую часть катушки. По наложенному первому слою микафолия каждой стороны катушки проводят горячим утюгом, чтобы расплавить лак и приклеить им микафолий к виткам катушки. Обутюженную сторону сразу же притирают тряпкой для удаления возможных морщин и лучшего прилегания микафолия к катушке. Переворачивая катушку, аналогично накладывают последующие обороты микафолия. На обе стороны катушки поверх микафолия накладывают один слой лакированной телефонной бумаги толщиной 0,05 мм. и 1 – 1,5 оборота парафинированной бумаги, которая после опрессовки удаляется. Затем приступают к опрессовке и выпечке изоляции. Более качественная микафолиевая изоляция в отношении плотности слоев и ровности наложения их получается, когда вместо обутюжки применяется горячая обкатка наложенного микафолия в обкаточном станке. При этом помимо затяжки слоев изоляции, происходит выпечка, удаление летучих растворителей. Применяя горячую обкатку, можно последующую опрессовку сторон для получения необходимого размера и формы сечения производить в холодном прессе. Обутюженную же изоляцию следует выпекать только в горячем прессе. В пресс вкладывается одна сторона катушки и сжимается до определенного размера по ширине и высоте пресспланками. Разогревая наложенный микафолий, производят выпечку находящегося в нем лака в течение 30–60 мин. и более, смотря по размеру обмотки и толщине изоляции.

По истечении указанного времени доступ пара прекращают и катушке дают остыть в прессе, после чего ее оттуда вынимают. То же самое проделывают и со второй стороной катушки. При опрессовке одной стороны катушки другую сторону необходимо удерживать на специальных подставках, чтобы форма ее не изменилась. После опрессовки и выпечки перед изолировкой лобовых частей производят отделку опрессованной пазовой части катушки. Снимают парафинированную бумагу. Удаляют излишки выдавленной компаундной массы и лака на концах гильз ножом или утюгом, после чего накладывают изоляцию на лобовые части.

ж. Изолировка лобовых частей катушек.

Изоляция лобовых частей выполняется соответствующим числом слоев лакоткани и одним слоем хлопчатобумажной ленты шириной от 20 до 30 мм. вполнахлеста на всей лобовой части и на изгибах. Выводные концы катушек изолируются лакотканью два раза вполнахлеста, причем начало изолировки ведут от края до места выхода из миканитовой гильзы и затем обратно. Изолированные концы подводятся к лобовым частям и поверх них уже накладывается общая изоляция лобовой части. Переходы от катушки к катушке изолируются три раза лакотканью вполнахлеста и поверх – хлопчатобумажной лентой. После изолировки лобовых частей катушки подвергаются испытанию на корпус и витковое соединение, и выдержавшие его передаются для вкладки в статор.

9–2. Изготовление катушек разрезных обмоток.

Разрезная обмотка применяется в высоковольтных машинах в тех случаях, когда статор имеет полузакрытые пазы. Вкладка обмотки производится с торца статора частями, которые затем соединяются между собой. Намотку секций разрезной обмотки производят на лобовых станках, к планшайбе которых прикрепляются специальные шаблоны, показанные на рис. 9–6. Одна сторона этого шаблона имеет форму, похожую на стороны шаблона для намотки нижних катушек, вторая же сторона его сужается к концу. Каждый шаблон имеет три выреза, в которые перед началом намотки укладываются куски хлопчатобумажной ленты, скрепляющие намотанные катушки и предохраняющие витки от распада. Намотка витков катушек производится в зависимости от рабочего напряжения статора, продольной или поперечной укладкой. Все переходы выполняются на отложных частях катушек. Первые катушки, составляющие катушечную группу, выверяются в деревянном макете, устройство которого было описано выше. Убедившись в правильности намотки, приступают к изготовлению остальных катушек. Витки намотанных катушек в суженной части посредине разрезаются (этим и обусловлено название обмотки – "разрезная") и выпрямляются ударами ручника по деревянному или фибровому клину, наложенному на концы обмотки. Затем в зависимости от рабочего напряжения статора, прокладывается междувитковая изоляция – гибкий миканит или электрокартон. Выпрямленные концы обмотки зачищаются от изоляции по длине 20–40 мм. Зачистку концов удобнее производить после намотки, так как после компаундировки для этого потребуется вдвое больше времени.

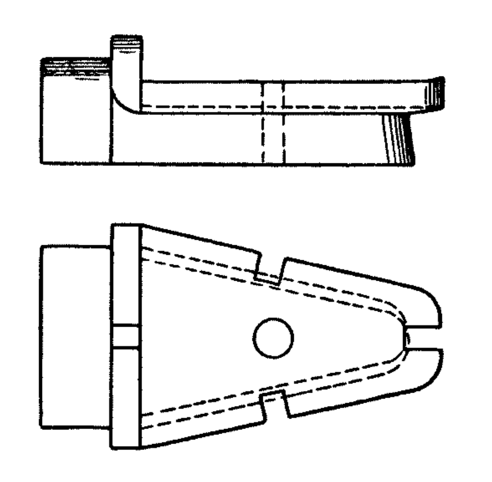


Рис. 9–6. Шаблон разрезной обмотки.

Далее обмотка скрепляется хлопчатобумажной лентой вразбег, поверх которой к прямым пазовым частям сбоку прикладываются картонные прокладки, по высоте равные намотанным виткам, и катушка вновь скрепляется киперной лентой вполнахлеста. Киперная лента в процессе компаундировки служит фильтром, не дающим компаундной массе проникать между витками, чем предотвращается излишняя работа по очистке от массы. Количество компаундной массы, проникающей в витки через киперную ленту, вполне достаточно. Затем катушки проходят дальнейшие операции, которые аналогичны операциям с неразрезными катушками, т. е. компаундировку, предварительную опрессовку, наложение микафолиевой изоляции, ее опрессовку и выпечку и т. д. После всех этих операций катушки испытываются на корпус и витковое и передаются в обмоточный цех для вкладки в пазы статора.

9–3. Изготовление катушек двухслойной обмотки мелких машин на шаблонах–оправках.

Двухслойные статорные обмотки небольших низковольтных машин напряжением 120–500 *в* могут быть изготовлены намоткой целиком полной фазы обмотки. Каждая фаза обмотки имеет несколько катушек, состоящих из витков медной проволоки укладываемых в статор через шлиц.

а. Заготовка обмотки.

Намотка катушек производится на небольших намоточных станках, к планшайбе которых прикрепляются специальные шаблоны – оправки. Станок (рис. 9–7) состоит из шпинделя 1 с надетыми на него шаблонами 2, шкива 3 для ремня от электродвигателя, станины 4 с подшипниками, шарнира Гука 5, соединяющегося со счетчиком числа оборотов 6 шпинделя. На шпиндель 1 надеваются шаблоны–оправки, число которых при данном способе намотки должно равняться числу катушек в фазе. В качестве примера рассмотрим устройство шаблонов–оправок для намотки катушек двухслойной обмотки одной фазы статора асинхронного двигателя со следующими данными: число пазов Z = 27, число пар полюсов p = 3, число пазов на полюс и фазу q = 1½.

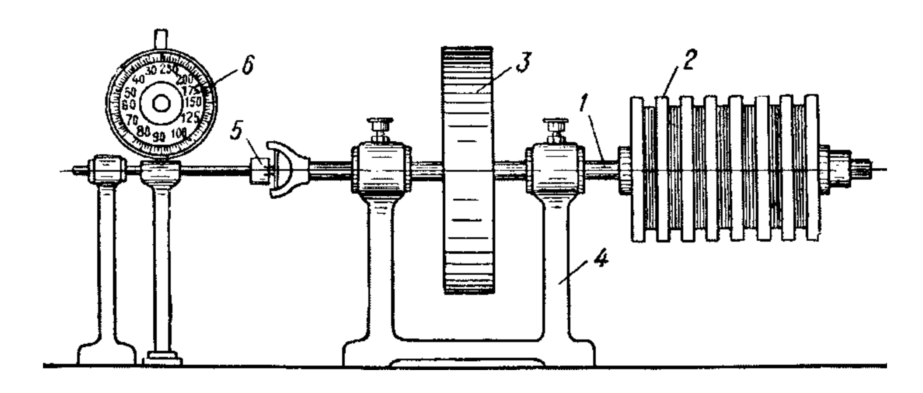


Рис. 9–7. Намоточный станок.

Согласно приведенным данным, каждая фаза состоит из девяти катушек, схема обмотки дана на рис. 9–8. Из схемы видно, что каждая фаза состоит из трех катушечных групп по две катушки в каждой и из трех катушечных групп по одной катушке в каждой. Чередование числа катушек в катушечных группах всех фаз вдоль развернутой схемы идет в следующем порядке: 2–1–2–1–2–1 и т. д. Для намотки одной фазы этой обмотки необходимо иметь 9 шаблонов–оправок. Они обычно изготовляются из дерева и бывают двух видов. Внутреннее очертание всех шаблонов одинаково.

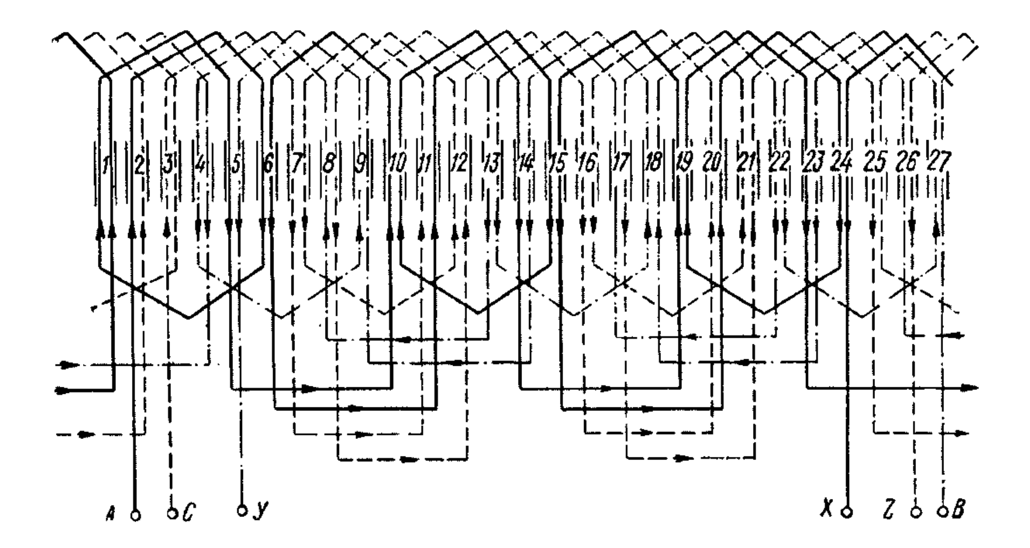


Рис. 9–8. Схема обмотки.

На рис. 9–9 показан общий вид оправки–шаблона. Он состоит из основания, имеющего два выреза для подкладки шпагата, скрепляющего провода, и сердечника, имеющего очертание катушки. Сердечник прикрепляется к основанию винтами. В середине шаблона имеется отверстие, служащее для надевания шаблона па болт–шпиндель. Второй вид шаблона отличается от первого только тем, что в его основании имеется вырез в (крючок). Для выполнения указанной обмотки применяются 6 шаблонов первого вида и 3 шаблона второго вида. Все шаблоны в порядке, указанном на рис. 9–9, б, надеваются на болт–шпиндель намоточного станка и закрепляются гайкой. При этом шаблоны с крючками устанавливаются повернутыми на 180° по отношению к шаблонам без крючков, т. е. если шаблоны без крючков устанавливаются на болт–шпиндель так, что самая большая сторона сердечника будет находиться со стороны рабочего места, то эта же сторона шаблонов с крючками должна находиться с противоположной стороны. Такая установка шаблонов необходима для того, чтобы соблюдать требующееся направление тока в обмотке фазы. Между планшайбой и шаблонами на болт–шпинделе устанавливается дистанционная деревянная шайба. Первая оправка на своем основании имеет две металлические скобочки для зажима начального конца провода.

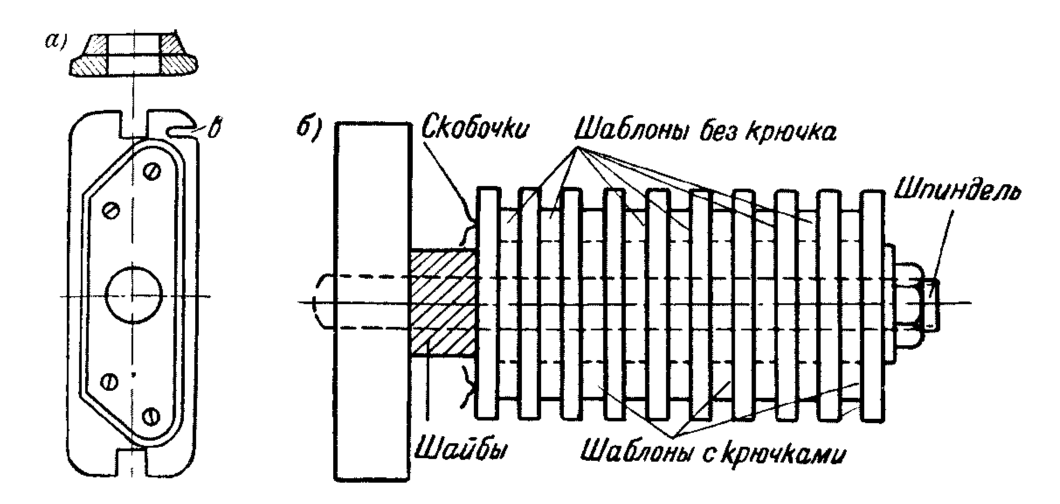


Рис. 9–9. Оправка – шаблон (*а*); расположение шаблонов на шпинделе (*б*).

б. Определение размеров контура шаблона.

На рис. 9–10 показаны размеры контура, которые нужно определить. Введем следующие обозначения: τy – ширина секции; Di – внутренний диаметр стали статора; lt – ширина стали статора; hп – высота паза; Z – число пазов; y – шаг секции по пазам;

*b*с – средняя ширина секционной стороны; *b*п – средняя ширина паза: *l*ш – средняя длина лобовой части шаблона; *l*с – средняя длина лобовой части витка.
Ширина шаблона определяется по формуле:

$$\tau ш = (\tau у - bc) \times 1{,}04 \quad (9-1)$$

здесь:

$$\tau у = \frac{\pi \times (Di + hп)}{Z} \times y; \; bc = bп - 2 \times i$$

где i – односторонняя толщина изоляции. Вылет шаблона определяется по формуле:

$$L = 15 + x + R \quad (9-2)$$

Таблица 9–1

2*p*	K
2	1,3
4	1,35
6	1,45
8	1,55

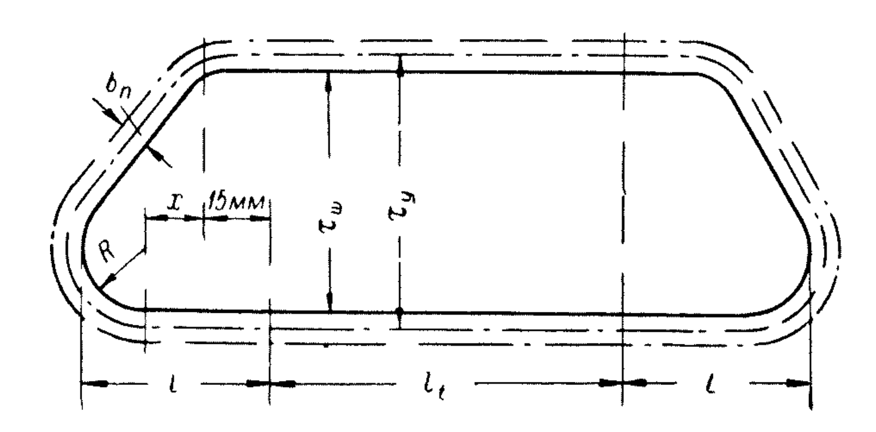


Рис. 9–10. Контур шаблона.

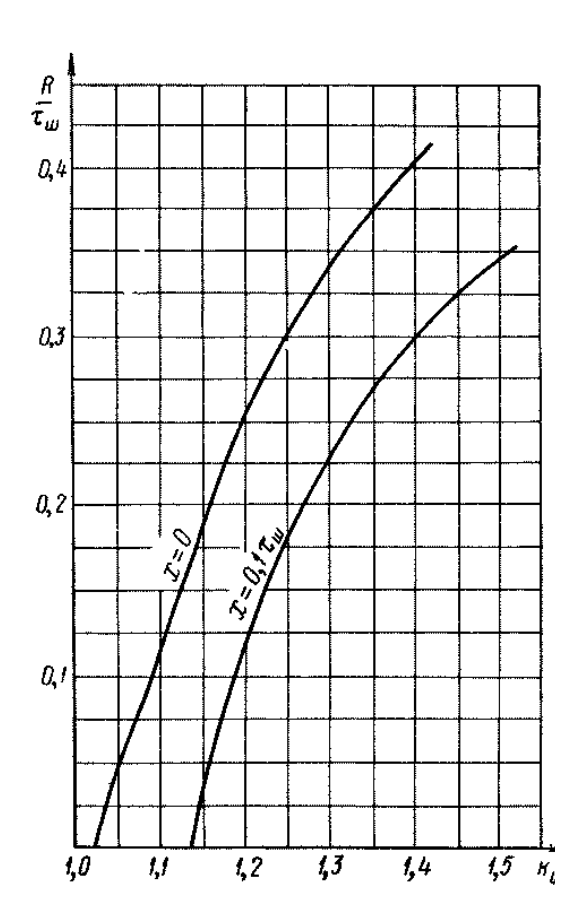


Рис. 9–11. Кривые для расчета размеров шаблона.

Размеры x и R указаны на рис. 9–10. Размер L определяют при двух значениях x: $x = 0$ и $x = 0{,}1\ \tau ш$ и выбирают большее значение. Для этого находят длину контура лобовой части шаблона:

$$lш = ls - 30 - \frac{\pi \times bc}{2} \quad (9-3)$$

где *ls* средняя длина лобовой части витка:

$$ls = k \times \tau y + 30 \quad (9-4)$$

Коэффициент к в этой формуле зависит от числа полюсов машины 2*p* и берется из табл. 9–1. Определив значение *l*ш, находят отношение:

$$Kш = \frac{lш}{\tau ш}$$

По полученному значению *Кш* находят отношения $R/\tau ш$ по кривым рис. 9–11 для $x = 0$ для $x = 0{,}1\ \tau ш$. По найденным отношениям $R/\tau ш$ находят два значения R, после чего находят два значения L и выбирают большее из них. Толщину сердечника шаблона находят из выражения:

$$b = \frac{S}{bc}$$

где S – площадь поперечного сечения, занимаемая витками секции; S – md^2, m – число витков секции; d –диаметр провода с изоляцией.

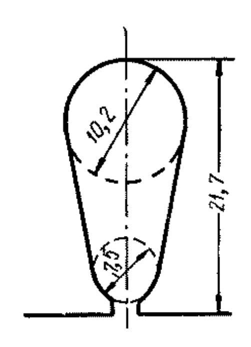


Рис. 9–12. Размеры паза статора.

Пример определения размеров шаблона.

Требуется определить размеры шаблона для обмотки статора со следующими данными:
Число полюсов $2p$ = 6. Внутренний диаметр статорной стали Di = 118 мм. Число пазов Z = 27 мм. Ширина стали lt = 122 мм. Шаг секции y = 4. Число витков секции m = 43. Диаметр голого провода d_2 = 0,86 мм. Диаметр изолированного провода d = 1,02 мм. Размеры паза показаны на рис. 9–12.

Ширина секции:

$$\tau y = \frac{\pi \times (Di + h\text{п})}{Z} \times y = \frac{\pi \times (118 + 21{,}7)}{27} \times 4 = 65\text{мм}.$$

Средняя ширина паза:

$$b\text{п} = \frac{10{,}2 + 7{,}5}{2} = 8{,}85 \text{ мм}.$$

Средняя ширина секции:

$$b\text{с} = 8{,}85 - 1{,}3 = 7{,}55 \text{ мм}$$

где 1,3 – двусторонняя толщина изоляции паза. Ширина шаблона:

$$\tau\text{ш} = (\tau\text{у} - bc) \times 1{,}04 = (65 - 7{,}55) \times 1{,}04 \approx 60 \text{ мм}.$$

Средняя длина лобовой части витка (см. формулу 9–4):

$$ls = K\tau\text{у} + 30 = 1{,}45 \times 65 + 30 = 124 \text{ мм}.$$

Длина контура лобовой части шаблона:

$$l\text{ш} = ls - 30 - \frac{\pi \times bc}{2} = 124 - 30 - \frac{\pi \times 7{,}55}{2} \approx 82\text{мм}.$$

Отношение:

$$K\text{ш} = \frac{l\text{ш}}{\tau\text{ш}} = \frac{82}{60} = 1{,}38$$

По полученному значению $Kш$ определяют отношение $R/\tau_{ш}$. Для x = 0 и для $x = 0{,}1\tau_{ш}$, $\tau_{ш}$ = 0,1×60 = 6. Для x = 0 имеем $R/\tau ш$ = 0,39, откуда R = 0,39×$\tau ш$ = 0,39×60 ≈ 24 мм. Для x = 0,1$\tau ш$, откуда R = 0,288×$\tau ш$ = 0,288×60 ≈ 17 мм.

$$L_{x_{-0}} = 15 + x + R = 15 + 24 = 39 \text{ мм}.$$

$$L_{x_{-0,1\tau\text{ш}}} = 15 + 6 + 17 = 38 \text{ мм}.$$

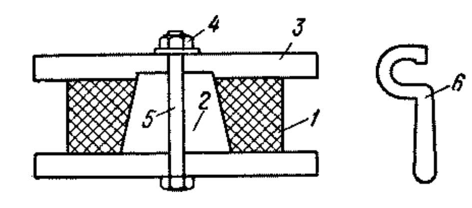


Рис. 9–13. Разъемный барабан.

Выбираем размеры шаблона при x = 0 и L = 39 мм.
Толщина сердечника:

$$b = \frac{s}{bc} = \frac{md^2}{bc} = \frac{43 \times 1{,}02^2}{7{,}55} \approx 6\text{мм}.$$

г. Процесс намотки.

Бухту провода 1 надевают на конус 2 разъемного барабана (рис. 9–13), затем надевают съемную щеку 3 и ключом 6 заворачивают гайку 4 стяжного болта 5 для того, чтобы плотно закрепить бухту. После этого барабан 1 (рис. 9–14) устанавливают в натяжное приспособление, а конец провода пропускают через деревянный барабан и через две пары натяжных и направляющих роликов 3. Конец прикрепляют на первой щеке шаблона 4 к металлическим скобочкам; в вырезы основания первого шаблона под укладываемый виток подкладывают небольшой конец ленты или шпагата, которым впоследствии будут скреплены витки катушки. На рисунке показан также тормоз 2 и приводной двигатель 5.

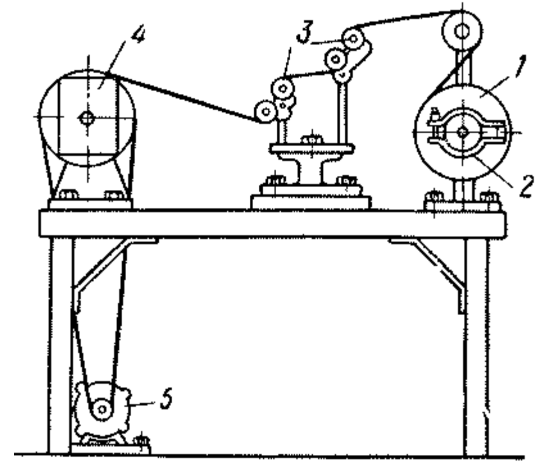


Рис. 9–14. Установка намотки катушек.

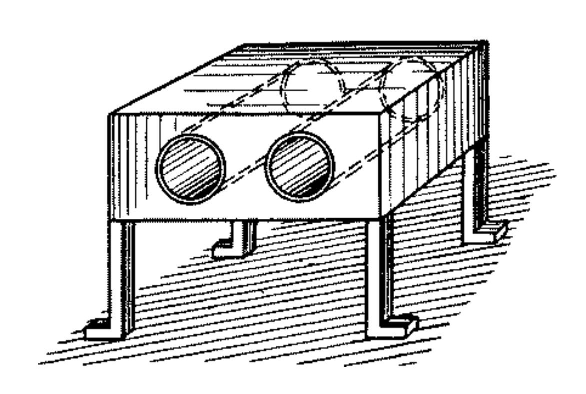


Рис. 9–15. Электропечь.

Намотав на первой катушке требуемое число витков ее скрепляют, аналогично наматывают и вторую. После намотки двух катушек делают "переход", т. е. намотчица огибает проводником крючок третьего шаблона, и аналогично наматывают третью, четвертую, пятую катушки. После намотки пятой катушки делают второй переход, т. е. опять огибают крючок шестого шаблона. Такой же переход делают при намотке девятого шаблона. Намотав всю фазу, отвертывают гайку болта–шпинделя (рис. 9–9, *б*) и все 9 шаблонов вместе с намотанной на них обмоткой снимают со шпинделя станка. Затем поочередно (в порядке номера шаблона) оправки освобождаются от намотанных катушек и в требуемом порядке вновь устанавливаются на болт–шпиндель станка. Намотанную фазу связывают шпагатом. Когда намотаны три фазы, их пазовую часть слегка промазывают парафином и связывают вместе, на этом заканчивается процесс заготовки одного комплекта обмотки. Отметим, что число шаблонов с крючками при этом способе намотки (целой фазы) должно равняться числу пар полюсов. После комплектовки обмотка поступает на обжиг концов, производимый в электропечи (рис. 9–15). Расправив и скрутив вместе все концы у комплекта обмотки, их просовывают в отверстие печи, где в течение 15–18 сек. обгорают хлопчатобумажная ткань и эмаль. После этого комплекты обмотки поступают на укладку в пазы. Выше мы рассмотрели процесс намотки обмотки из провода сечением до 1 мм. 2. Намотка провода сечением свыше 1 мм. 2 – для более крупных машин – производится на более мощных станках. Шпиндель в этом случае делает 200–300 об. мин. вместо 500–600 об. мин. при намотке катушек из провода меньшего сечения. В последнем случае провод из бухты наматывается на шаблон – оправку "на себя". При намотке катушек из провода большего сечения намотку ведут "от себя" и применяют специальное натяжное приспособление, показанное на рис. 9–16. Бухта провода устанавливается в разъемный барабан, аналогичный показанному на рис. 9–13. Барабан с проводом устанавливается на болт 1 натяжного приспособления (рис. 9–16) и плотно поджимается маховичком 2 (на котором имеется конус) ко второму конусу. Болт имеет левую резьбу.

После установки барабана с проводом и закрепления его регулируют торможение вращения барабана. При намотке параллельно двух проводов применяют два барабана 3 и 4, как это показано на рис. 9–16. Концы проводов пропускают через зажимное приспособление 5.

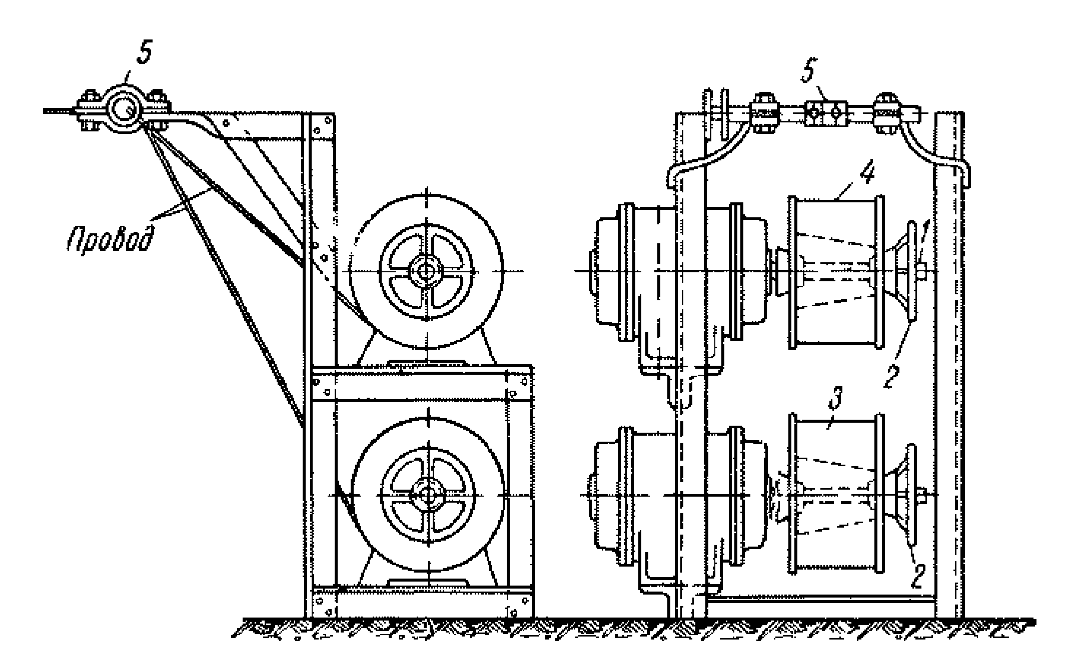


Рис. 9–16. Натяжное приспособление.

Это приспособление имеет три–четыре глазка, внутрь которых закладывается электрокартонная или фибровая прокладка для устранения трения изоляции провода о металлические части. При этом прокладка из электрокартона нарезается, как указано на рис 9–17, *а*, и складывается вчетверо (см. рис. 9–17, *б*, *в*, *г*). Такая форма прокладки делается для того, чтобы во время движения она не могла выскользнуть из зажимного приспособления, ее удерживают нижние части, опирающиеся на зажим. Регулировка зажима ведется также с помощью винта *а* (рис. 9–18). Для того чтобы бухта с проводником во время остановки не раскручивалась по инерции, применяются тормоза. Обмотку более крупных низковольтных машин наматывают отдельными катушками или катушечными группами, но не целой фазой. Намоточный станок для этой цели показан на рис. 9–19. Нажатием рычага 1 ремень от электродвигателя натягивается и включает станок. Провод из бухты 2 проходит через зажим 3 к планшайбе 4, на которой укреплен шаблон. После намотки концы катушек очищаются от хлопчатобумажной изоляции и эмали на специальном приспособлении, продольный разрез которого показан на рис. 9–20.

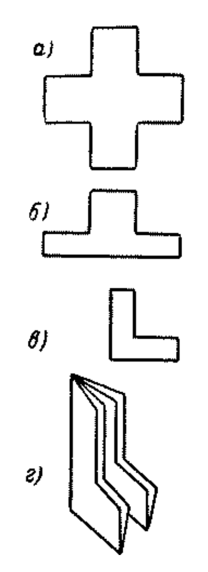


Рис. 9–17. Электрокартонная прокладка.

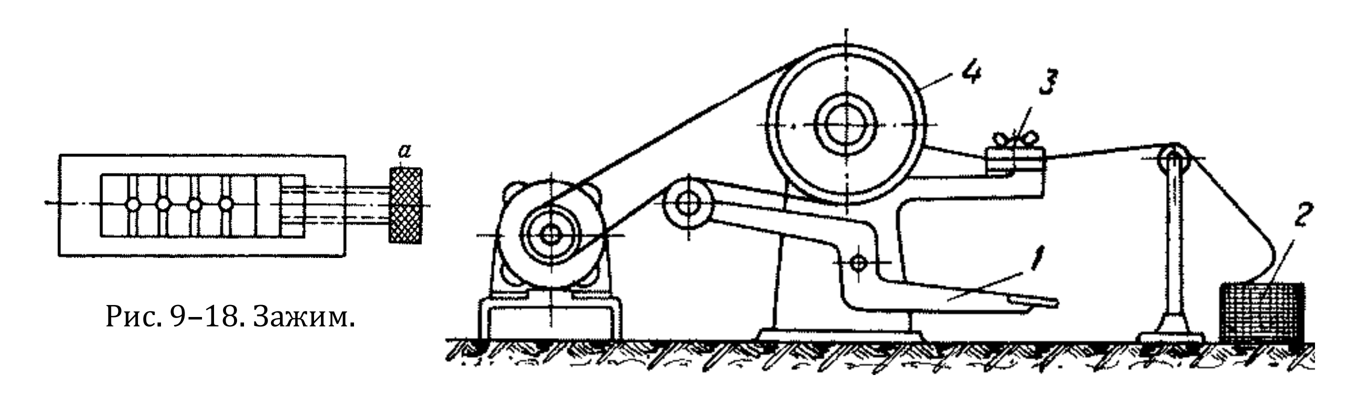


Рис. 9–18. Зажим.

Рис. 9–19. Намоточный станок.

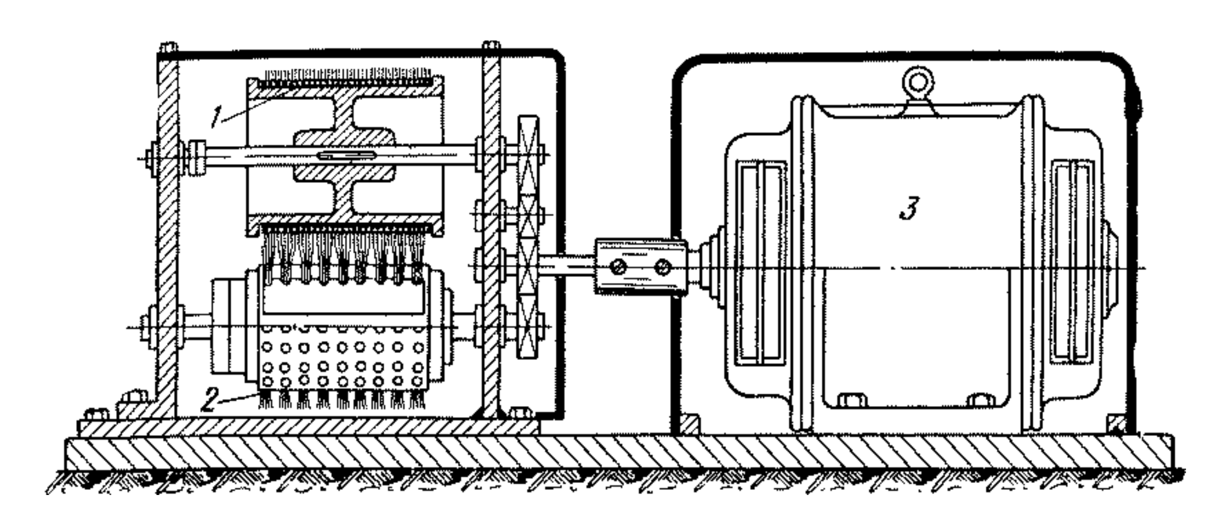


Рис. 9–20. Приспособление для очистки концов.

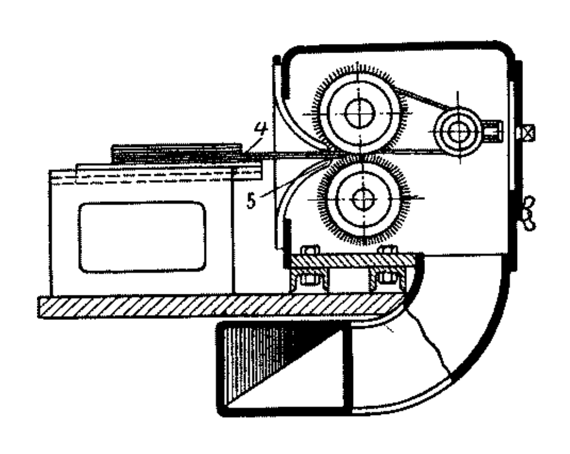


Рис. 9–21. Поперечный разрез приспособления.

Приспособление состоит из двух металлических щеток 1 и 2, вращаемых электродвигателем 3. На рис. 9–21 изображен поперечный разрез этого приспособления. Провод 4 пропускается через приемное отверстие 5 в промежуток между щетками, которые, захватывая проводник, производят его очистку. На указанном приспособлении одновременно очищаются 12 концов провода диаметром в 1,5 мм. за 5 сек. Для машин малой мощности (асинхронных) известное применение имеет также однослойная мягкая обмотка, которая по виду своих лобовых частей носит название цепной. Изготовление такой обмотки не отличается от вышеописанного способа намотки на шаблон двухслойной обмотки для мелких машин.

9–4. Изготовление катушек статорных двухслойных обмоток

а. Заготовка катушек.

Намотка двухслойных катушек обмотки ведется на обыкновенном лобовом станке, к планшайбе которого прикрепляется специальное раздвижное приспособление, подобное рассмотренному нами раньше (рис. 8–3). Чтобы намотать катушки этой обмотки, имеющей вид, показанный на рис. 9–22, производят подсчет длины растянутого шаблона, на который следует установить кулачки в намоточном приспособлении.

Пусть, например, общая длина катушки будет состоять из следующих составных частей: прямой части 480 мм. плюс две длины лобовых частей по 145 мм. – 290 мм. плюс две длины закруглений при переходе от прямой пазовой части к лобовой по 2,5 мм. = 5 мм., 480 + 290 + 5 = 775 мм. Следовательно, кулачки приспособления следует установить друг от друга на расстоянии 775 мм. Внутренний радиус головок принимается равным 10 мм. Следовательно, расстояние между внутренними сторонами головок (по диаметру) должно быть равно 20 мм. Радиус головок со стороны выводов делается обычно больше (около 12,5 мм). Установив по месту и закрепив планкой кулачки, приступают к намотке катушек. Слабое натяжение проводника при намотке может вызвать увеличение размеров лобовых частей катушки. Начало проводника прикрепляется ручными тисочками к раме раздвижного приспособления. Дольше намотка производится поперечной укладкой с горизонтальными прокладками. В процессе намотки в головках лобовых частей прокладывают электрокартонные прокладки. После намотки катушки скрепляют как в прямой части, так и в лобовых частях хлопчатобумажной лентой, ранее подложенной под первые витки. Затем катушки с длиной витка до 1000 мм. могут растягиваться на этом же приспособлении, а при длине витка более 1000 мм. растяжка с целью придания формы катушке производится на специальных ручных растяжных станках (рис. 9–23). Растяжной станок в основном состоит из станины, на которой смонтирован вал 1 с установленными на нем стойками 2, пазовыми зажимами 3 и головкодержателями 4. Катушка ("лодочка") закладывается сначала в головки.5, затем в пазовые зажимы 3. При вращении поворотного плеча 6 происходит растяжка катушки на заданный шаг и угол разворота пазовых частей катушки. Во время растяжки головкодержатели сближаются до стопорных колец 7, которые служат ограничителями растяжки. В настоящее время ручные растяжные станки заменяются пневматическими, на которых можно растягивать катушки любого размера.

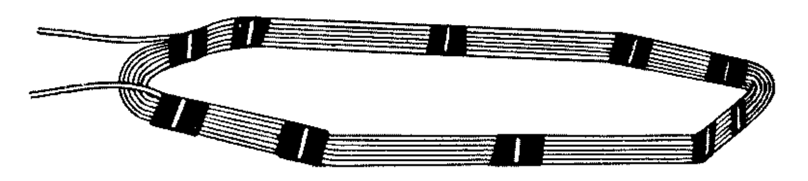


Рис. 9–22. Катушки двухполюсной обмотки.

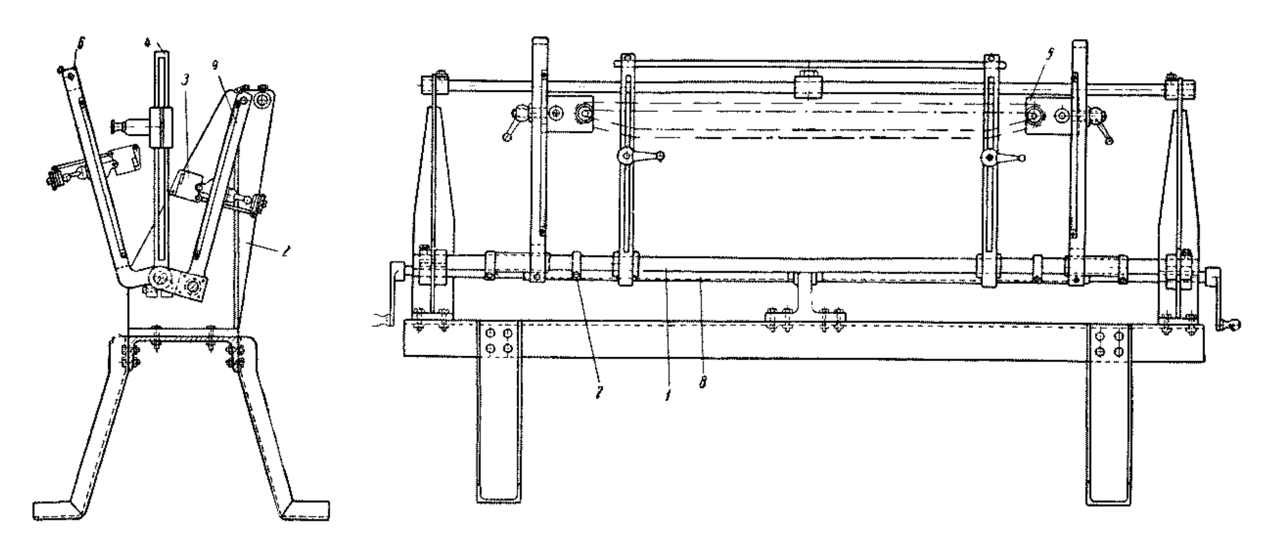


Рис. 9–23. Ручной растяжной станок.

б. Рихтовка и компаундировка катушек.

Снятые с намоточного станка и покрытые хлопчатобумажной лентой катушки не имеют еще тех очертаний, какие необходимы при укладке их в пазы статора. Для придания им соответствующей формы в лобовых и пазовых частях производится рихтовка, которая состоит из трех основных операций:

1) отгиб лобовых частей на шаблоне;
2) основная рихтовка пазовых и лобовых частей на шаблоне;
3) вывертка катушек после рихтовки на макете.

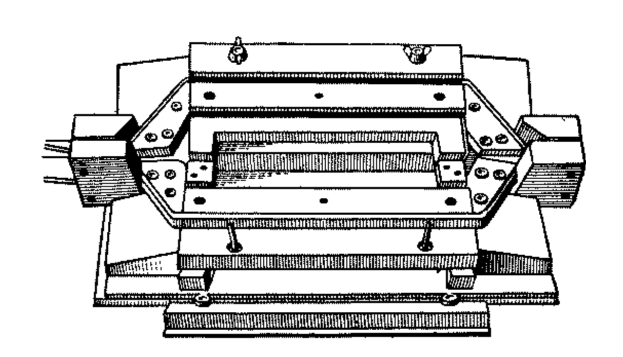


Рис. 9–24. Шаблон для рихтовки.

Лобовые части растянутых катушек находятся в одной плоскости с пазовыми частями. Для отгиба лобовых частей катушек применяются шаблоны с пазами, в которые вкладываются лобовые части катушек. Отгиб головок производится вручную на угол, достаточный для того, чтобы уложенные в пазы статора катушки не были выше активной стали. Основная рихтовка производится на специальном деревянном шаблоне (рис. 9–24) или на силуминовом, который более практичен. В пазы шаблона катушка вставляется прямыми пазовыми частями. Поворотными планками, находящимися сверху пазов, шаблон закрывается, после чего рихтуются лобовые части. Для этого пользуются деревянным или фибровым клином и ручником, которым подгоняют лобовые части вплотную к стенкам шаблона. Благодаря рихтовочному шаблону лобовые части имеют соответствующую кривизну, пазовые части получают необходимый поворот сторон катушки (по пазам статора). Правильность рихтованной катушки выверяется на деревянном макете, представляющем собой часть стали статора. Неправильная рихтовка ведет к большим механическим усилиям при закладке сторон катушек в пазы, что влечет за собой повреждение основной изоляции. После рихтовки катушки подвергаются компаундировке, выполняемой таким образом, как и компаундировка однослойных обмоток.

Таблица 9–2

Обозначения	Шаблоны для обмоток двухполюсных машин	Шаблоны для всех прочих обмоток
M, Rп	Из чертежа обмотки	
B, H	Размеры сечения с витковой изоляцией в пазовой части	
x	Принимаются от 2 до 3 мм	
h	H + x	H + x
r_1	$R_1 - x$	$R_1 - x$
r_2	$R_2 - x$	$R_2 - x$
h_1	q	$1{,}5q'$
h_2	$q + 2R_0$	$1{,}5q + 2R_0$
r_3	$r_1 + h + h_1$	$r_1 + h + h_1$
r_4	$r_2 + h + h_2$	$r_2 + h + h_2$
s_1	$s_1 = s_2 = \sin\alpha_1/4(r_1 + r_2)$	$\sin\alpha_1/4r_1$
s_2		$\sin\alpha_1/4r_2$
p	$C - (B/2\cos\alpha_1)$	$C - (B/2\cos\alpha_2)$

з. Определение размеров шаблона для рихтовки катушек двухслойной статорной обмотки.

На рис. 9–25 показаны основные размеры шаблонов, которые определяются по формулам, приведенным в табл. 9–2. Пример определения размеров шаблона обмотки. Определим размеры шаблона для катушки, показанной на рис. 5–27:

M = 340 мм.; r_3 = 199 + 16 + 16 = 231 мм. Rп = 25 мм.; r_4 = 214 + 16 + 37 = 267 мм.

B = 8,3 мм.; s_1 = 2sin12°30'×199 = 86 мм. H = 14,1 мм.; s_2 = 2sin12°30'×214 = 93 мм.

x = 2 мм.

h = 14,1 + 2 ≈ 16 мм.; r_1 = 201 – 2 = 199 мм. r_2 = 216 – 2 = 214 мм.;

p = 91,4 – 8,3/2cos41° = 86 мм.; h = 2×8,4 = 16,8 ≈ 17 мм.

h_2 = 1,5 × 8,4 + 2×12 = 36,6 ≈ 37 мм.

Примечание. Практически установлено, что если q = 10 мм. или меньше, то h_1 принимается равным 2q; при q = 11, 12, 13 мм. h_1 принимается равным 20 мм. Все размеры при расчете округляются с точностью до 1 мм.

г. Опрессовка.

После компаундировки с катушек снимается временная лента, и счищаются излишки компаундной массы. Для придания пазовой части катушки необходимых размеров и прямолинейности производится горячая опрессовка, но прежде пазовая часть катушки по всей длине обертывается одним слоем киперной ленты шириной 20 мм. наложенной в ⅓ нахлестки. При опрессовке пазовых частей после компаундировки удаляются излишки компаундной массы, выпрямляются витки на прямых частях и пазовые части доводятся до требуемого размера. Для опрессовки служит пароводяной гидравлический пресс (рис. 9–5). Пресспланки и способ прессования такой же, как описанный ранее.

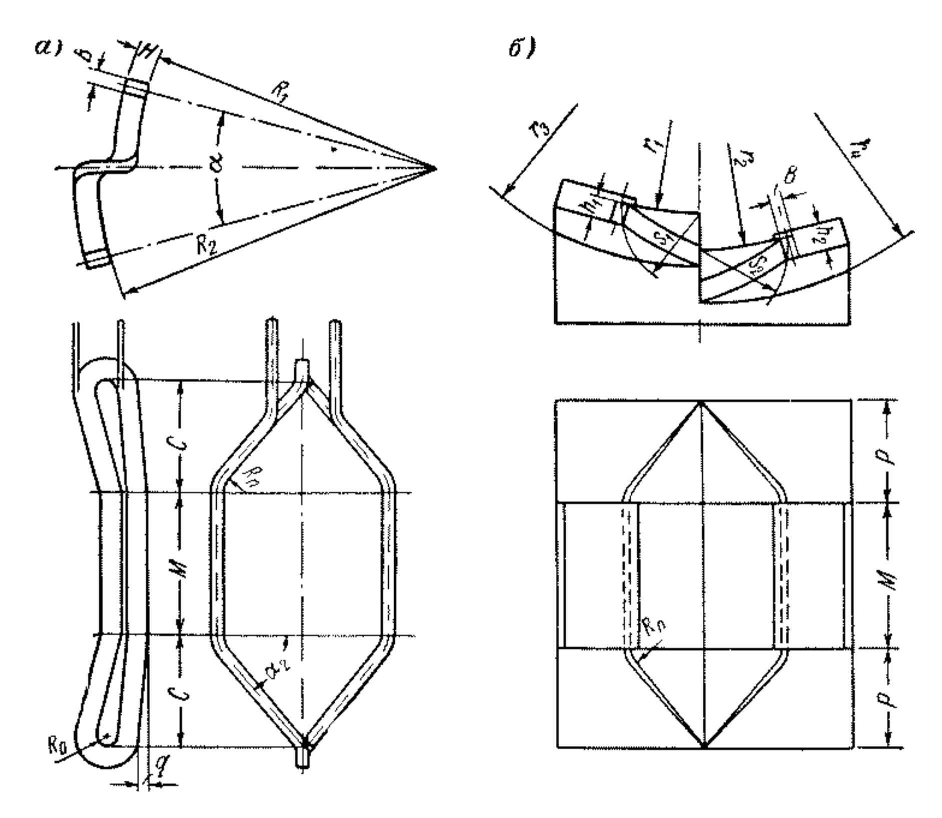


Рис. 9–25. Основные размеры катушки (*а*) и шаблона (*б*) для рихтовки.

В современном производстве применяются также и пневматические прессы с пароводяными плитами. Ручная прессовка обмоток может также производиться в винтовых прессах, но это не обеспечивает необходимой монолитности витков и получения равномерных размеров по всей длине. После полного охлаждения катушка вынимается из пресса, подвергается рихтовке на деревянном шаблоне и проверке на макете, потом испытанию на электрическую прочность витковой изоляции по существующим нормам для данной конструкции. Затем снимается киперная лента, и катушки отправляются для наложения корпусной изоляции, которая выполняется гильзовым или непрерывным способами.

д. Выполнение гильзовой изоляции на 6000 и 3000 *в*.

Опишем сначала выполнение изоляции катушки для напряжения 6000 *в*. Начинается она с изолировки перехода от пазовой к лобовой части (рис. 9–26). Как уже было сказано, этот переход является наиболее ответственным и опасным (в отношении пробоя) местом. В гл. 5 была описана конструкция изоляции этого перехода. Предварительно изолируется головка катушки пятью слоями лакированной ленты вполнахлеста, причем первый слой накладывается по всей головке, с заходом по 45–50 мм. на прямые части.

Отступя на 9–10 мм. от конца первого слоя, накладывают второй слой, который не доводят до конца первого слоя тоже на 9–10 мм. Третий слой накладывается с таким же смещением по отношению ко второму слою. Так накладывают пять слоев лакированной ленты. После наложения изоляции на головку изолируется прямая часть лобовой части катушки. Здесь применяется микалента. Первый слой микаленты начинается непосредственно от конца первого слоя лакированной ленты изоляции головки и ведется вполнахлеста, с заходом по направлению к стали машины на 45–50 мм. на прямую часть катушки. Второй слой микаленты накладывается от конца второго слоя лакированной ленты изоляции головки и, таким образом, перекрывает первый слой микаленты на 9–10 мм. но не доводится на 9–10 мм. до конца первого слоя микаленты. С такими же уступами в начале и в конце накладываются еще три слоя микаленты. Таким образом, изолируются все четыре перехода от прямой к лобовой части катушки. Выводные концы сначала изолируют пятью слоями лакированной ленты. Затем производят изолировку двух прямых частей катушки (включая и пазовую часть) наложением на них микафолия для образования гильз. Длину листа определяют, исходя из среднего периметра гильзы, как это было описано в §9–1. Так как гильза должна перекрыть ступенчатый переход изоляции лобовой части, то заготовка микафолия производится таким образом, чтобы при обертывании катушки листы микафолия перекрывали последовательно уступы слоев изоляции лобовой части. Для этого в листе микафолия с обеих его сторон делают вырезы в виде ступеней или скашивают их. В нашем случае это скашивание должно быть равно 45–50 мм. с каждой стороны. Каждый оборот накладываемого микафолия проутюживается двумя работницами. Одна из них утюжит, а вторая для равномерного прилегания микафолия и устранения складок плотно приглаживает место утюжки сухой тряпкой отрывистыми движениями рук по направлению накладывания микафолия. Как было указано ранее, более качественное наложение микафолия получается, когда листы его размягчаются на горячей плите при температуре 70–80°С и обертываются вокруг изолируемой стороны катушки, затем эта сторона закладывается в обкаточный станок. При утюжке получается излом изоляции, морщинистость, неплотности. Проглаживание по микафолию сухой тряпкой не устраняет полностью эти дефекты. Обкатка – наиболее совершенный способ наложения микафолиевой изоляции. После наложения микафолия катушки поступают на вторую опрессовку, которая производится в тех же пароводяных прессах, но в коробчатых пресспланках (рис. 9–27), внутренний размер которых равен размеру опрессованной катушки. Стороны катушек выдерживаются в прессах до размягчения лаковой основы в микафолиевой гильзе. Затем для скорейшего остывания катушки через плиты пропускается вода. Катушка остается в прессах до полного остывания. После опрессовки микафолиевой изоляции с концов ее осторожно удаляют ножом или отпаривают утюгом компаунд или лаковую основу, и катушки поступают на дальнейшую изолировку лобовой части и головок. На лобовую часть накладывают ленту из лакоткани толщиной 0,2 мм. на небольшом участке и затем поверх нее накладывают еще один оборот лакоткани вполнахлеста той же толщины.

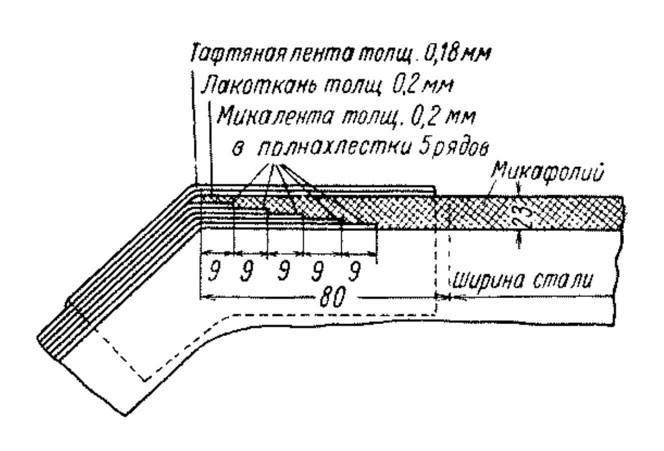


Рис. 9–26. Выполнение изоляции перехода для 6000 *в*.

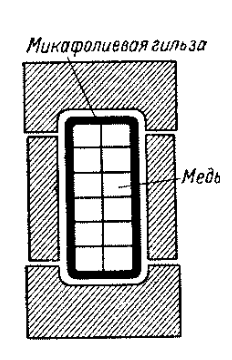


Рис. 9–27. Коробчатые пресспланки.

Слои лакоткани накладываются на микафолиевую опрессовку примерно над местом начала первого слоя лакоткани, который наложен под микафолием, и ведутся вполнахлеста до той же точки на другой стороне, причем изолировка головки выполняется в $^3/_4$ нахлестки. Лакоткань доводят до второй стороны катушки и закрепляют ее здесь, отступя 16 мм. от края прессовки. Поверх лакоткани накладывается хлопчатобумажная лента толщиной 0,22 мм. от опрессовки до середины головки с той или другой стороны лобовых частей. Ленту закрепляют шеллачным или бакелитовым лаком. После выполнения изоляции лобовая часть прокрашивается быстросохнущим лаком два раза: катушка считается готовой и передается на испытание электрической прочности пазовой изоляции, а также на витковое испытание. При выполнении изоляции на 3000 *в* толщина наложенного микафолия на пазовую часть должна быть порядка 1,5 мм. Внутренний конус выполняется двумя слоями микаленты вполнахлеста. На микафолиевую опрессовку накладывается один слой лакоткани и один слой тафтяной ленты толщиной 0,22 мм. Конус выполняется также уступами на длине 16 мм; второй слой накладывают, отступая от первого на 9 мм. Толщина листов микафолия берется 0,25–0,30 мм. Изолировка концов выполняется двумя слоями лакоткани и одним слоем тафтяной ленты. Процессы наложения микафолиевой изоляции и выполнение конуса аналогичны описанным (для изоляции при напряжении 6000В). В настоящее время внедряется термореактивная гильзовая изоляция из стеклослюдинитового полотна толщиной 0,17 мм. марки ЛТСС, обозначение букв в марке: Л – лента; Т – термореактивная; С – слюдинит; С – стеклополотно на термореактивном эпоксидно–идитоловом лаке. Двусторонняя толщина изоляции для напряжения 6000 *в* – 4,5 мм. Поверх гильзы стеклянная лента марки ЛЭС толщиной 0,2 мм. наложенная впритык. Витковая изоляция выполняется из слюдопластоленты – 1 слой вполнахлеста. На лобовые части и выводные концы статорной катушки накладывается эластичная изоляция: слюдопластолента, эскапоновая лента. Выполнение общей изоляции начинается с изолировки головок и выводных концов. Головки, выводные концы и половина лобовых частей катушки изолируются 5–ю слоями вполнахлеста липкой синтетической лентой марки ЛСЭЛ толщиной 0,19 мм. сводя изоляцию на конус около 25 мм. на ½ длины лобовой части. Оставшаяся половина лобовых частей и уголки изолируются 6–ю слоями синтетической лентой в ½ нахлеста с заходом на пазовую часть, не доходя до железа на ½. Выводные концы после изолировки катушки прибандажируются к лобовым частям стеклянной лентой, а в местах отгиба чулком АСЭЧ диаметром 2 мм. Есть и другой вариант: до наложения гильзы 3 слоя слюдопластоленты и 2 слоя синтетической ленты, после гильзы – 2 слоя синтетической ленты. Заготовка полотна, рассчитанная, как ранее описано, для микафолия с учетом +30%, на уплотнение изоляции при опрессовке. Материал кладется стеклянной подложкой книзу на электроплиту с температурой 60–70°С и прогревается в течение 5–10 сек, затем обертывается вокруг пазовой части, поверх 3–4 оборота парафинированной бумаги и закладывается между плитами обкаточного станка для обкатки при температуре 220–240°С в течение 5–10 мин (в зависимости от габаритов катушки). Удельное давление нажимных утюгов 30–40 кг/см^2. После этого сторона катушки закладывается в холодный пресс и под давлением 25–35 кг/см^2 охлаждается. Размер пресспланок подбирают на 0,5 мм. меньше номинального размера высоты сечения стороны катушки. То же повторяют со второй стороной катушки. После этого производится окончательная изолировка и замотка киперной лентой по всей длине катушки.

Подготовка к компаундировке. Ранее подготовленные картонные прокладки толщиной 0,2 мм. шириной по высоте катушки, длиной равные всей прямолинейной части катушки, пропитанные в 10% растворе каучука в толуоле (СКТ), для лучшего отлипания накладываются на каждую сторону по 2 шт. и скрепляются киперной лентой вполнахлеста. После этого укладываются на стеллажи (кареты) для компаундирования.

Режим компаундирования. Вакуумная сушка 740 мм. ртутного столба при температуре 80–100°С в течение 2–х ч. Затем загонка компаундной массы для гидростатической опрессовки в течение 14 ч. давлением 7 атм. и температуре 150–160°С. Температура размягчения массы 110–115°С по "Кольцу и Шара". По окончании режима компаундирования с остывших катушек снимаются картонные прокладки, хлопчатобумажные ленты очищаются от остатков битумной массы. При наличии утолщений, снимается защитная стеклянная лента, зачищается компаундная масса и накладывается новая стеклянная лента, пропитанная в битумно–масляном лаке воздушной сушки. Подчистку компаундной массы надо делать очень аккуратно, не повредив изоляцию. Данная конструкция гильзовой изоляции в отличие от микафолиевой получается более монолитная, не вспухает при длительном хранении. Это обеспечивается термореактивным связующим.

е. Непрерывная изоляция из микаленты на органических связующих.

После намотки и растяжки на станке катушка проходит следующие операции:
1) изолировку витков и подготовку к компаундировке;
2) первую предварительную прессовку; 3) первую компаундировку;
4) опрессовку; 5) рихтовку; 6) проверку по макету; 7) изолировку;
8) вторую компаундировку; 9) окончательную отделку.
Изолировка витков, т. е. прокладка горизонтальных прокладок и подготовка к первой компаундировке, производится аналогично описанной ранее. Операция первой компаундировки или пропитки ведется, как было указано выше (см. §9–1). Так как размеры катушек после компаундировки увеличиваются вследствие излишков наплывшей компаундной массы, то после пропитки производят опрессовку пазовой части в прессе под давлением с паровым подогревом. Из нее выдавливается лишняя компаундная масса, придается монолитность и прямолинейность пазовой части и размер катушки доводится до требуемого. Прессовки лобовой части катушки не производят. Катушки охлаждают в прессе, пропуская воду через нажимные плиты, и затем вынимают. С катушки снимают наложенную временно хлопчатобумажную ленту с наплывами компаундной массы, и она поступает сначала на рихтовку в деревянном шаблоне (рис. 9–24), а затем на изолировку. Изолировка выполняется микалентой шириной 13–15 мм. на углах и головках и 19–22 мм. в прямолинейных местах пазовой и лобовых частей. Толщина микаленты 0,17 мм. Микалента накладывается вполнахлеста по всей катушке непрерывно. Накладывать микаленту надо очень тщательно, с затяжкой каждого оборота, чтобы создать возможно большую плотность слоев и равномерность размеров в сечении изолируемой катушки. Для катушек напряжением 6000 в выводные концы и головки изолируются пятью слоями микаленты вполнахлеста, пазовая часть семью–девятью слоями микаленты, лобовая – на один слой меньше. Для лучшего закрепления выводных концов у головки они закрепляются тремя–четырьмя оборотами веревочного бандажа диаметром 1–1,5 мм. Поверх слоев микаленты накладывается хлопчатобумажная лента шириной 20–25 мм. и толщиной 0,22 мм: в пазовой части – впритык, в лобовых частях и в головках – вполнахлеста. Затем поверх этого по всей длине накладывается киперная временная лента в ⅓ нахлестки шириной 20–25 мм. толщиной 0,35–0,40 мм. Накладываемая хлопчатобумажная лента должна быть достаточно затянута. Далее катушки передаются на вторую компаундировку, которая является самым трудоемким процессом при выполнении непрерывной изоляции. Целью ее является сушка корпусной изоляции, удаление летучих веществ из изоляции и гидростатическая ее опрессовка.

Операция второй компаундировки включает:
1) сушку с доступом воздуха при температуре 155–165°С – 5 ч;
2) сушку при вакууме не менее 720 мм. ртутного столба – 8 ч;
3) сушку при вакууме 740 мм. ртутного столба – 3 ч;
4) засасывание компаундной массы 1–2 ч;
5) выдержку под давлением 7 кг/см^2 (гидростатическая опрессовка) – 5 ч. Температура в смесительном и рабочем котлах должна быть 155–165°С. Режим компаундирования каждой партии изделий регистрируется с помощью приборов, записывающих температуру, давление и вакуум в котле. На заводе ЛЭО "Электросила" процесс компаундирования проводится при помощи установки программного управления, которая осуществляет автоматическое регулирование и технологический контроль режимов. Введение такой установки значительно повысило качество компаундирования изоляции обмоток, получение требуемых размеров, уменьшение брака по вспухаемости изоляции, которая определяется выявлением глухого звука при простукивании металлическим предметом. При компаундировке большое значение имеет температура, при которой она производится. Особенно важно, чтобы при впуске в пропиточный котел температура компаундной массы и температура катушек были одинаковы. В противном случае весь процесс будет неудачен, и его повторяют снова. Как было указано ранее, пропитка под давлением должна продолжаться 5 ч при условии хорошо разогретой компаундной массы и при давлении не менее 7 кг/см^2. При этом давлении (в данном процессе) катушки опрессовываются гидростатическим путем. Из практики завода "Электросила" установлено, что температура размягчения компаундной массы должна быть в пределах 120–127°С по "Кольцу и Шара". Рекомендуется для процесса компаундирования корпусной изоляции эту температуру поддерживать в максимальных пределах. Это способствует повышению монолитности изоляции и получению размеров сечения катушек в допустимых пределах; гидравлическая прессовка корпусной изоляции при этом не производится. После компаундировки катушки охлаждаются, а затем их разбирают. Снимают киперную ленту с наплывом компаундной массы. Определяются размеры сечения катушек. Если катушка тоньше, то ее можно выровнять, дополнительно наложив один слой микаленты или хлопчатобумажной ленты. Если же высота не позволяет, толщина выравнивается гибким миканитом. Если толщина катушки больше необходимых размеров, но не более чем на 0,5 мм. производят подчистку компаундной массы или смену поверхностной защитной хлопчатобумажной ленты. Выравнивание сечения катушек с компаундированной микалентой изоляцией в прессах не рекомендуется, так как это резко снижает электрическую прочность корпусной изоляции. Выводные концы очищаются от компаундной массы сначала ножом, а потом механической щеткой. После этого катушки считаются готовыми и подвергаются электрическим испытаниям на витковое и корпус. В связи с введением механизированного процесса наложения витковой изоляции из микаленты или любой ленточной изоляции изменен технологический процесс изготовления статорных катушек. Для электрических машин напряжением от 400 до 6000 *в* применяется витковая изоляция, наложение которой ведется на механизированном станке (типа ШЛМ–1). Этот процесс состоит из следующих операций:
1) намотка витковой изоляции и изготовление катушки в виде круговой заготовки;
2) растяжка круговой заготовки в овальную форму в виде лодочки на станке;
3) первая опрессовка катушки (лодочки с витковой изоляцией) в гидравлическом прессе;
4) первая компаундировка катушки (лодочки); 5) растяжка катушки (лодочки);
6) вторая опрессовка растянутой катушки; 7) рихтовка на деревянном шаблоне;
8) наложение корпусной изоляции (окончательная изолировка) и наложение хлопчатобумажных лент механической защиты; 9) вторая компаундировка;
10) окончательная отделка.

ж. Механизированная изолировка катушек.

Как было сказано выше, наложение микаленты является весьма трудоемким процессом, требующим известных навыков. Неоднократно делались попытки механизировать эти операции, однако разрешить эту задачу удалось только после Отечественной войны инженерам завода "Электросила" им. С. М. Кирова тт. Шварцману, Лысикову и Малыгину. (см. "Вестник электропромышленности", 1948, №6). Ими созданы станки и разработана технология наложения витковой изоляции и изоляции от корпуса без применения ручного труда. Наложение витковой изоляции производится с одновременным изготовлением первичной заготовки катушки, которая представляет собой круглый шаблон вместо лодочки, производится станком, кинематическая схема которого показана на рис. 9–28. Как показано на рисунке, сматываемый с барабанов провод проходит через отверстие в центре направляющей втулки 2, вокруг который вращается так называемый обмотчик 2 с роликом микаленты 3. В то время как провод наматывается на приемный барабан 4, обмотчик накладывает на провод слой микаленты, являющейся междувитковой изоляцией. На обмоточной головке можно установить 3 обмотчика, для случая одновременного наложения 2–3–х слоев ленточной изоляции, что является необходимым для катушек напряжением более 6000 *в*. Полученная круглая заготовка на специальном станке (рис. 9–29) растягивается в лодочку. Заготовка устанавливается со стороны выводных концов на неподвижной головке 2, противоположная сторона – на подвижной головке 5, прикрепляемых к верхней части 1 станка. Головка 3 перемещается по направляющим до упора – ограничителя рабочего хода 6, установленного соответственно длине лодочки. Ограничитель холостого хода 5 устанавливается соответственно диаметру круговой заготовки минус 10–15 мм. В зависимости от сечения лодочки можно одновременно укладывать для растяжки две–три круговые заготовки. Переключатель 7 служит для реверсирования электродвигателя 4. В случае применения тонкой меди толщиной до 1,95 мм. вторая прессовка катушек производится после компаундирования лодочек, затем лодочки растягиваются в катушки, рихтуются и на них накладывается корпусная изоляция. При прессовке компаундированных лодочек получаются равномерные размеры по всей длине катушки, как в пазовых, так и в лобовых частях. При прессовке же растянутых катушек лобовые части не прессуются, и поэтому местами получаются утолщения выше допустимых, особенно со стороны выводных концов. Таким образом, в новом процессе изготовления катушек лодочка получается с уже наложенной витковой изоляцией. Помимо того, что механизация изолировки катушек значительно ускоряет и удешевляет этот трудоемкий процесс, здесь достигается еще одно чрезвычайно важное преимущество. Для изготовления катушек можно применять голый провод, так как основной является изоляция, наложенная при изготовлении катушки, а хлопчатобумажная изоляция провода совершенно не нужна. При этом заполнение паза медью может быть большим, так как объем, занятый ранее хлопчатобумажной изоляцией, может быть заполнен медью, т. е. в тот же паз может быть заложен провод с большим сечением.

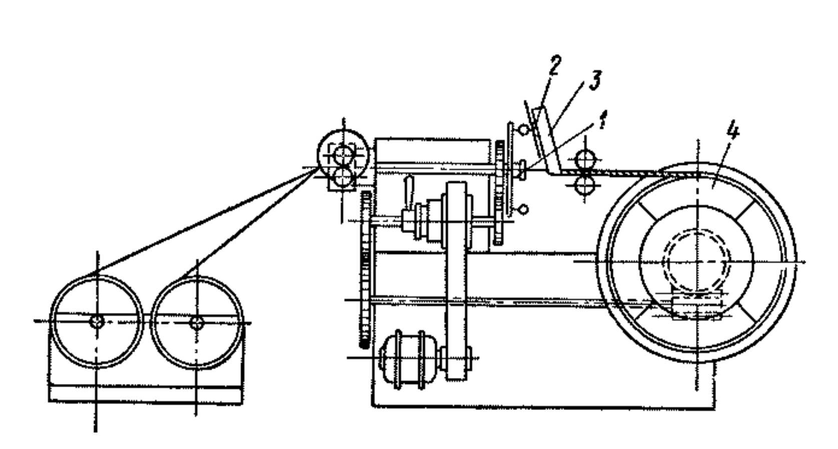


Рис. 9–28. Кинематическая схема станка для наложения витковой микалентной изоляции.

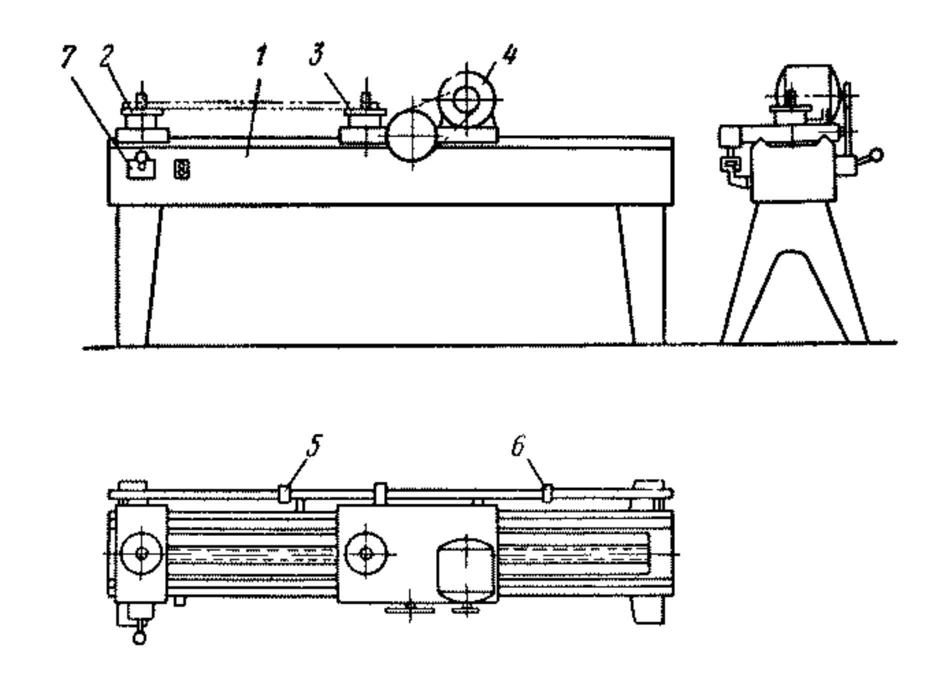


Рис. 9–29. Станок для растяжки круговой заготовки статорных катушек.

Все это повышает коэффициент использования машины. Так, например, если вместо меди с изоляцией ПБД, имеющей размеры сечения голого провода 4,7×2,44, а с изоляцией 5×2,74 мм. взять голый провод с размерами сечения 5,1×2,63 мм. т. е. близкий по размерам к изолированному, то выигрыш в сечении при тех же размерах составит:

$$13{,}4 - 11{,}4/11{,}4 \times 100 \approx 17\%,$$

где 13,4 и 11,4 – соответствующие площади сечения провода. Наиболее сложный и трудоемкий процесс – наложение изоляции от корпуса на катушечную обмотку. Инженерам завода "Электросила" тт. Лысикову, Устименко и Смирнову удалось решить и эту проблему. По их конструкции на заводе "Электросила" в 1958 г. установлен станок (рис. 9–30). Он предназначен для изолировки статорных обмоток катушечного типа с длиной прямолинейной части от 320 мм. и более, длиной лобовых частей от 90 мм. и более при ширине катушки от 125 мм. и более. На этом же станке можно изолировать и полукатушки якорной петлевой обмотки. Сложные элементы катушки – головки и выводные концы – изолируются вручную, остальная часть – пазовая и лобовые части – машинным способом.

Для настройки станка по размерам и форме катушки подбираются сменные копиры 8, равные длине всей прямолинейной части катушки. Копиры закрепляются на станине 1. Затем устанавливаются угловые секторы 11, по которым фиксируется угол перехода пазовой части катушки к лобовой. Головки катушки надевают на катушкодержатели 6 и 7. При помощи поворотных приспособлений, имеющихся на столах 5 и 4, положение катушки регулируется таким образом, чтобы проекция всей длины ее пазовой и лобовых частей совпала с копиром и находилась посередине каретки 2 между двумя розетками обмотчиков 3. Изолировка производится по копиру, настроенному соответственно размерам и форме катушки. При изолировке на этом станке применяется комбинированный способ перемещения каретки: прямолинейно–поступательный на прямых участках и вращательный на радиусах, что дает возможность при постоянном числе оборотов розетки обмоточных головок накладывать изоляцию по всему сложному профилю катушки. В процессе изолировки каретка перемещается по копиру, а розетка обмоточных головок с роликами микаленты – по контуру изолируемой части катушки, с постоянной скоростью, обеспечивающей необходимый шаг наложения изоляции. Изоляция накладывается двумя обмоточными головками вполнахлеста, шаг наложения изоляции при этом равен 12 мм. при ширине ленты 24 мм. сразу за один полный проход получается два слоя изоляции.

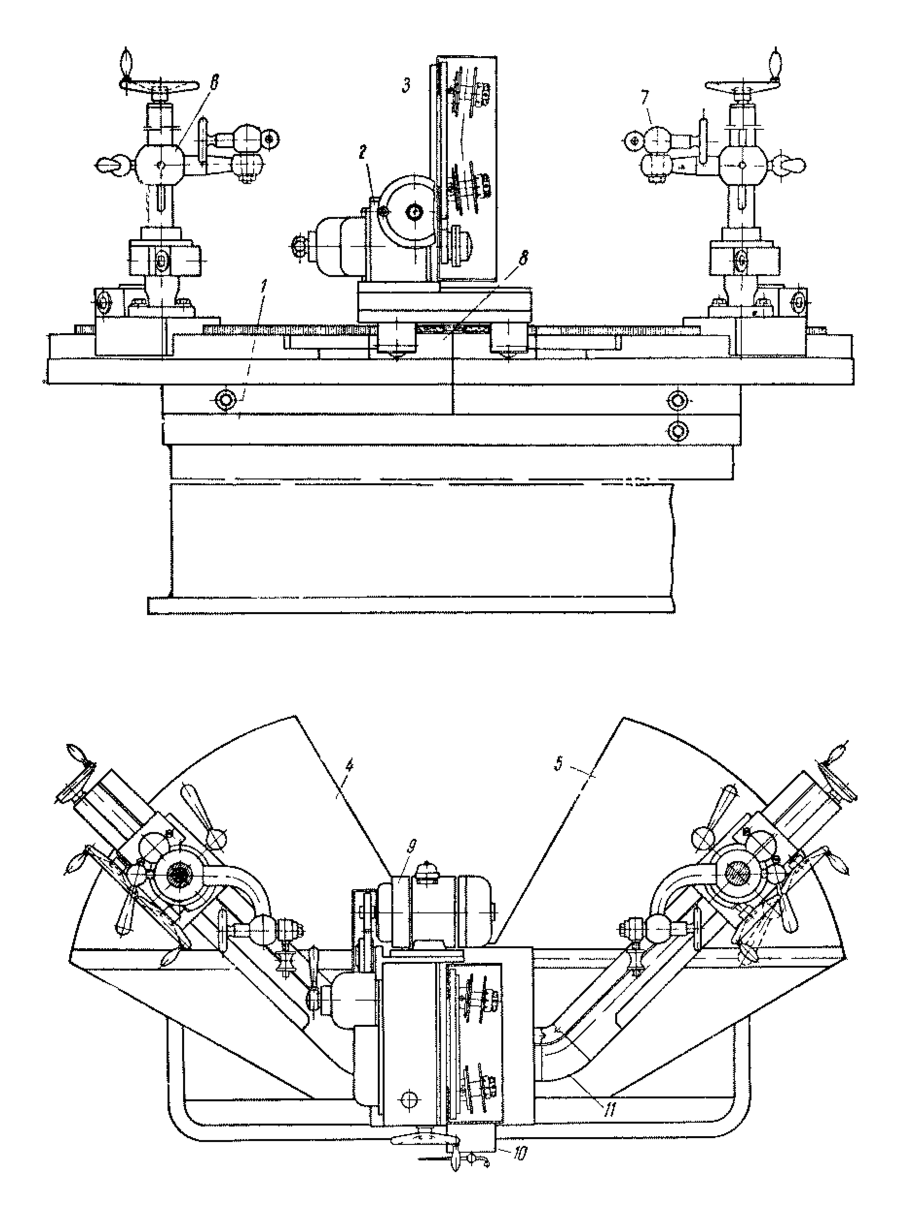


Рис. 9–30. Универсальный изолировочный станок ЛУС–8
для статорных обмоток катушечного типа.

Можно применить и другой способ намотки – в ⅔ нахлестки с шагом намотки 8 мм. Опыт работы показал, что наложение изоляции вполнахлеста на станке обеспечивает более высокое качество катушек. Получается плавный переход изоляции углов на прямолинейные части, отсутствуют складки и можно применять микаленту с различной степенью влажности, что практически очень важно. Кроме того, большие расстояния между стыками лент приводят к увеличению электрической прочности изоляции. Скорость вращения розетки обмоточной головки колеблется в пределах 160–240 об. мин. В конце рабочего хода каретка автоматически выключается электрическим рычажным выключателем 10. При обратном холостом ходе розетка не вращается. Рабочая скорость и холостой ход каретки могут быть изменены на ходу вращением маховичка–вариатора с раздвижными конусами и жестким стальным кольцом. Вариатор изменяет общую скорость каретки и розетки в пределах от 100– до 400 об. мин. В такой же степени меняется поступательная скорость каретки. На каретке установлен электродвигатель мощностью 0,4 кВт со скоростью вращения 1400 об. мин. Качество наложенной изоляции в значительной степени зависит от правильной установки катушки на станке,. Проекция контура изолируемой катушки должна совпадать с копиром станка. Правильность установки катушки проверяется розеткой обмоточных головок при холостом ходе каретки.

з. Комбинированная изоляция из микаленты и липкой синтетической ленты (стеклоэскапон).

При механическом изолировании можно создать любой натяг и производить весьма плотную намотку слоев изоляции. Но для этого требуется достаточная механическая прочность применяемых материалов, что, к сожалению, не обеспечивается из–за нестабильных механических свойств подложки микалентной бумаги. Опыты, проведенные на ЛЭО "Электросила", с применением промежуточных слоев механически прочных лент стеклоэскапоновой или стеклянной для дополнительной затяжки основной микалентной изоляции дали положительные результаты. С целью проведения опытов в розетке обмоточной головки (см. рис. 9–30) были установлены еще два обмотчика для закрепления ролика липкой синтетической и стеклянной лент. Эти ленты закрепляются туго, путем подгонки винта и пружины в обмоточной головке. Изолировка ведется в следующем порядке: 1–й проход станка – 2 слоя микаленты; 2–й проход станка – 1 слой микаленты и 1 слой синтетической липкой ленты; 3–й проход станка – 1 слой микаленты и 1 слой синтетической липкой ленты; 4–й проход станка – 1–2 слоя микаленты. Размеры изолированной катушки должны быть в минусе против чертежных данных: по ширине на 0,5 мм. по высоте до 1–1,5 мм. На ощупь изолировка должна быть плотной. Поверх накладывается 1 слой защитной ленты. Такая конструкция изоляции применяется для катушек при напряжении 6000–6300В. Для катушек с числом одинарных витков (10 и более) и многовитковых, независимо от количества проводников в витке для затяжки рекомендуется применять стеклянную ленту толщиной 0,08–0,1 мм. шириной 15–20 мм. Ролик стеклянной ленты заправляется на 3–ю осевую втулку обмоточной головки станка и плотно закрепляется.
Изолировка производится в следующем порядке: 1–й проход станка – 2 слоя микаленты; 2–й проход станка – 2 слоя микаленты; 3–й проход станка – 1 слой стеклянной ленты; 4–й проход станка – 2 слоя микаленты. Поверх один слой защитной стеклянной ленты. При расчете толщины изоляции катушки стеклянную ленту в расчет не принимают.
Таким способом изолируется сначала одна сторона катушки, и после изготовления части катушек изолируется вторая сторона. Для этого приходится подстраивать держатели головок. На готовые катушки поверх основной изоляции накладывается вручную временная киперная лента, и только потом она передается в компаундировку по ранее описанному режиму.

и. Непрерывная теплостойкая изоляция.

Широко внедряется нагревостойкая стеклослюдяная изоляция для статорных катушек ответственных электрических машин. Для этих катушек применяется электротехническая медь марок ПСД и ПСДК. Конфигурация катушкам придается обычными способами, как это было ранее описано. Такие катушки компаундированию не подвергаются. Нагревостойкая стекломикалента наносится на витки механическим способом, а корпусная (в зависимости от габаритов) может наноситься механически или вручную. Обычно при малом количестве слоев изоляции и при низком напряжении катушек, до 500 *в*, корпусная изоляция накладывается вручную. Монолитность витковой изоляции достигается пропиткой катушки в пропиточном кремнийорганическом лаке и последующей выпечкой при высокой температуре 180–200°С. Слои корпусной изоляции промазываются цементирующим клеящим кремнийорганическим лаком и затем выпекаются также при повышенной температуре. Обычно для катушек с рабочим напряжением до 500 *в* корпусная изоляция состоит из четырех–пяти слоев стекломикаленты толщиной 0,15 мм. наложенной вполнахлеста на пазовые части. Лобовые части и головки имеют на 1 слой изоляции меньше.
Нанесение слоев изоляции производится с плотной затяжкой каждого оборота. Рекомендуется производить эту работу в хлопчатобумажных перчатках.

Перед пропиткой катушка по всей длине заматывается временной стеклянной лентой, если сушка проводится при температуре 180–200°С, при более низкой температуре 120–150°С – хлопчатобумажной киперной лентой. Ниже приводится режим термической обработки катушек в зависимости от вида пропиточного вещества (табл. 9–3).

Таблица 9–3.

Операция	Температура сушки, °С	Время сушки, ч	
		К–47	ЭФ–ЗБСУ
Предварительная сушка с витковой изоляцией	180	3	3
Сушка после пропитки с витковой изоляцией	120 150 180	3 2 –	3 – 2
Сушка с корпусной изоляцией	120 150 180	3 6 –	3 – 6

Если корпусная изоляция после сушки имеет отлип, необходимо ее сушить дополнительно при температуре 180°С 1–2 ч с применением лака ЭФ–ЗБСУ или при температуре 150°С 1–2 ч. при лаке К–47. Для пропитки: вязкость лака К–47 должна быть 12–13 сек. по вискозиметру ВЗ–4, это соответствует содержанию нелетучих 35–40%; концентрация лака ЭФ–ЗБСУ – 40 %. Корпусная изоляция при тепловой обработке разбухает, и для получения нужных размеров необходима подпрессовка изоляции. Для чего снимается временная лента и накладывается новая. Прессовка производится в гидравлических или пневматических прессах при удельном давлении не более 10–12 кг/см^2, чтобы не допустить механического повреждения изоляции. После этого киперная лента снимается, выводные концы катушки зачищаются на механических щетках. Особо тщательная зачистка требуется для катушек с нелужеными концами. Пайка таких катушек после укладки производится твердым припоем на сварочном, аппарате. Лобовые части обжимаются в пневматическом приспособлении давлением сжатого воздуха 5–6 атм. Для получения правильной формы лобовых частей производится окончательное формование катушки на шаблоне путем пригонки лобовых частей к опорным плоскостям, ударяя деревянным или капроновым молотком через фибровую оправку, не повреждая изоляцию. Окончательно изготовленные катушки испытываются на витковое и на корпус.

к. Внутрипроводниковое форсированное охлаждение.

В последние годы на заводе "Электросила" начато внедрение активной меди – полого провода прямоугольного сечения с толщиной стенки 1,3–1,5 мм. для изготовления катушек статора. Бухты с медной трубкой предварительно подвергаются гидравлическим испытаниям на проходимость и прочность на специальной испытательной установке (пневмогидравлический трансформатор). Один конец бухты после раскалибровки отверстия приключается к установке, а с другого конца визуально наблюдается появление обильной водяной струи, что свидетельствует об отсутствии закупорки канала проводника. После этого данный конец зажимается в призматических губках, создав давление воды 70 атм. и выдерживается 5 мин. При этом давление по манометру не должно падать. Далее бухта с трубкой пропускается через дефектоскоп типа ЭЗТМ–2М для выявления трещин, задиров, расслоения, забоин и т. п. Дефектоскоп является стационарным прибором и состоит из электронного блока, датчика и рихтовочного устройства. Контроль осуществляется при протягивании трубки через датчик с помощью намоточного устройства изолировочного станка для наложения витковой изоляции (см. рис. 9–28). Годная медь направляется для изготовления катушек в соответствии с чертежом.

Технологический процесс выполнения таких катушек почти не отличается от обычных – из сплошных проводников. Основное отличие состоит в том, что к выводным концам этих катушек припаиваются сварочным аппаратом, применив припой ПСр–15, специальные полые наконечники, через которые осуществляется циркуляция воды по схеме. Контроль герметичности места пайки проводится на гидравлической установке давлением воды 15–20 атм. в течение 30 мин. Давление по манометру не должно снизиться. Также производится контроль гидравлического сопротивления. Для чего создается напор воды при постоянном давлении 0,8 атм. и при помощи мерной посуды засекается секундомером время вытекания воды до определенного уровня. В качестве витковой и корпусной изоляции для этих катушек используется теплостойкая микалента марки ЛФКТ.

Глава десятая изготовление катушек возбуждений.

10–1. Намотка параллельных катушек.

а. Изолировка каркасов.

Намотку параллельных катушек производят либо на изолированные стальные каркасы, либо на деревянные оправки. В последнем случае после намотки катушки снимаются с оправки и надеваются на изолированный каркас, который затем насаживается на сердечник. Иногда катушки наматываются прямо на изолированный сердечник. Каркасы обычно делают из листовой стали толщиной от 0,5 до 2 мм. Перед намоткой катушек на каркас необходимо последний покрыть изоляцией. При изолировке следует учитывать среду, в которой будет работать машина: если это сырое помещение, то изоляция должна быть выполнена из миканита; для работы в сухом помещении каркасы изолируются обычно электрокартоном толщиной от 0,5 до 1 мм. в 2–4 слоя. Выполняется изоляция следующим образом. По всем четырем сторонам каркаса накладывается в два слоя полоса электрокартона толщиной 1 мм. Ширина его должна быть равна высоте каркаса, причем электрокартон должен прочно упираться краями в отогнутые стороны каркаса. Начало и конец электрокартона обрезаются на конус для того, чтобы избежать утолщения в этом месте. Для предотвращения развертывания электрокартона поверх него вразбег наматывается хлопчатобумажная лента. Затем из электрокартона вырезаются четырехугольные шайбы с таким расчетом, чтобы их края выступали за намотанную катушку на 10–15 мм. с каждой стороны. В нарезанных четырехугольниках намечается ширина и длина изолированного каркаса, а затем вырезается отмеченная часть. Полученные таким образом шайбы надеваются на каркас. Для этого они разрезаются на короткой стороне наискось, но ни в коем случае не прямо, и по две накладываются на отогнутые части стального каркаса, причем шайбы должны быть уложены так, чтобы разрезы их помещались на разных сторонах каркаса. Надев шайбы, со средней части каркаса снимают временно наложенную ленту и приступают к намотке катушек. У каркасов для намотки параллельных катушек, предназначенных для работы в условиях повышенной влажности, обычно один торцовый бортик отгибают. Изоляция, накладываемая на сердечник каркаса, состоит из трех–четырех слоев гибкого миканита. Перед нанесением изоляции сердечник каркаса промазывается лаком; горячим утюгом слои миканита склеивают и приклеивают их к сторонам каркаса. Затем надевают миканитовую шайбу и укладывают ее на отогнутый бортик каркаса. После намотки катушек поверх выводного конца укладываются миканитовая и стальная шайбы, и отгибается второй бортик.

б. Намотка катушек на каркас.

На некоторых заводах для намотки катушек возбуждения применяется приспособление, изображенное на рис. 10–1. Рукояткой 1 в процессе намотки производят торможение барабанов с надетыми на них бухтами провода. Натяжение проводника осуществляется скользящим глазком 5, закрепленным в планке 3, и сжимающим приспособлением 4, состоящим из двух гетинаксовых (а на некоторых станках и стальных) планок.

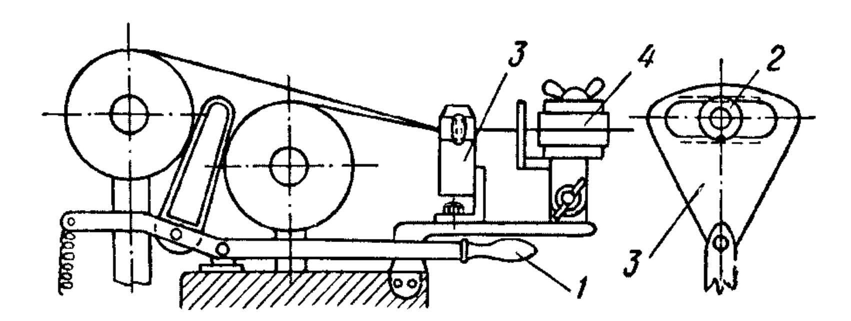


Рис. 10–1. Приспособление для намотки катушек.

Для того чтобы намотать катушку параллельного возбуждения на изолированный каркас, необходимо внутрь каркаса вставить деревянный сердечник, изготовленный по внутреннему его размеру. К планшайбе намоточного станка прикрепляется болт и на него надевается деревянная планка, а также деревянный сердечник с каркасом, прочно закрепляемые на планшайбе. К началу проводника припаивается вывод катушки. Его тщательно изолируют лакотканью или хлопчатобумажной лентой и укладывают на каркас. Укрепив конец на каркасе, приступают к намотке катушки. Во избежание возможного соединения с корпусом первый и последний витки нижнего ряда, лежащие у стыков изоляции сердечника и шайб, изолируют лакотканью. Для лучшей укладки провода витки подколачиваются друг к другу с помощью фибрового клина и деревянного ручника. Обычно одна половина приходящихся на машину катушек наматывается "недоводом", вторая – "переводом" (т. е. концы катушек меняют местами). Это необходимо для того, чтобы две рядом расположенные катушки можно было просто соединить без длинных торцовых перекрещивающихся соединительных кабелей. Для укрепления второго выводного конца катушки перед концом намотки прокладывают изогнутую выводную пластину (вывод) из плоской меди с ушком на одном конце, хорошо пролуженную и изолированную. При дальнейшей намотке она закрепляется пятью–десятью витками (рис. 10–2). Количество наматываемых витков катушки определяют по счетчику, который имеется на станке. Намотав последний виток, отрезают проволоку, и конец катушки припаивают к облуженному концу заранее уложенной пластины. Намотанные катушки проверяют на правильность размеров. Во время наложения переходных витков из одного ряда в другой во избежание виткового соединения подкладывают изоляцию из миканита, картона или хлопчатобумажной ленты. Изготовленные катушки испытываются на витковое. После испытания они поступают в печь для просушки и затем на пропитку.

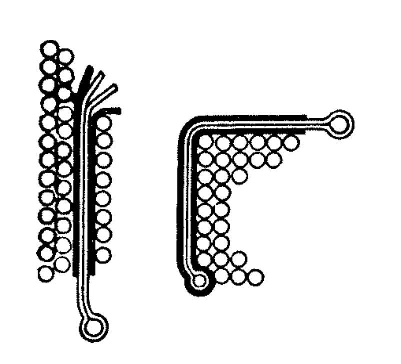


Рис. 10–2. Крепление выводов катушек.

в. Намотка катушек на оправку.

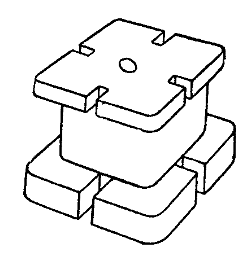


Рис. 10–3. Оправка для намотки катушек.

Оправки для намотки катушек изготовляются из крепких пород дерева – бука, дуба или березы (рис. 10–3). Обычно они делаются разъемными для лучшего снятия катушки после намотки. Оправки могут быть также металлическими. Размеры оправки по ширине и длине должны точно соответствовать размерам катушки с учетом припуска на изоляцию и неплотности. Высота оправки для прямоугольной меди берется также точно по размеру катушки, а для круглой меди – меньше на 3 – 5 мм. Торцовые доски к деревянным оправкам делают с углублением по ширине и длине средней части оправки на 3–5 мм. чтобы не было смещения средней части относительно досок. В каждой доске делается по четыре прореза. Оправка с досками укрепляется на станке. Перед намоткой катушки необходимо в прорезы досок проложить хлопчатобумажную ленту, выпустив ее концы по обе стороны оправки и закрепив их на досках, что позволяет сделать несколько раз стяжку витков в процессе намотки и этим предупредить разбухание катушки. Намотав требуемое число витков, катушку скрепляют, а четырех сторон концами хлопчатобумажной ленты, после чего отвинчивают гайки, снимают оправку с досками и ручником выбивают оправку из намотанной катушки. Проверив размеры катушки и убедившись в их правильности, приступают к намотке остальных катушек. Намотку параллельных катушек для ответственных машин ведут из провода марки ПБД, предварительно пропитанного в битумно–масляном лаке типа 447 (практически полученной в бухтах медный провод пропитывают, затем подают на намотку), или провод марок ПДА, ПСД, ПСДК. Изолировку выводных пластин производят от места соединения пластины с проводом, не доводя изоляцию до конца пластины на 20–25 мм. Поверх изоляции обертывается полоса гибкого миканита или картона. В местах перехода от одного ряда на другой прокладывается миканит или электрокартон. С целью достижения монолитности витков ряды при намотке промазываются цементирующим глифтале–бакелитовым лаком 45 – 50–процентной концентрации. У катушек, которые подлежат компаундированию, витки не промазываются. Только для ответственных машин, независимо от последующей компаундировки, первые 5 – 6 рядов тщательно промазываются цементирующим лаком. Для катушек нагревостойкого исполнения из провода марки ПСДК монолитность витков достигается промазкой их цементирующей массой, представляющей пастообразную смесь талька с теплостойким кремнийорганическим компаундом К–43 с добавлением линолеата свинца. Углубления, образовавшиеся у выводов, выравниваются специальной кремнийорганической замазкой. Намотанные катушки снимают с оправки, расклинивают специальными распорными клиньями до необходимого размера и оставляют на воздухе в течение не менее 2 ч. После этого катушки заматывают киперной или стеклянной лентой, зажимают в металлические или деревянные приспособления (для обеспечения размеров) и подвергают термической обработке. Если катушки предназначены для компаундировки, то этот процесс ведется по второму режиму, как для статорных катушек.

Таблица 10–1

Марки эмали	Время сушки в час. при температуре °C			
	t	100 – 140	180 – 190	120 – 140
ПКЭ–14	0,5 – 1,0	3	12 – 16	8 – 12
ПКЭ–19	3	–	–	–

Примечание, t – температура окружающей среды.

Катушки, промазанные глифтале–бакелитовым лаком, сушат при температуре 60–80°С 2 ч и при температуре 100–120°С 4 ч. Затем покрывают серой эмалью воздушной сушки. После первого покрытия производится сушка в вытяжном шкафу при температуре окружающего воздуха в течение 4 ч, а после второго покрытия не менее 6 ч до прекращения отлипа. Катушки нагревостойкого исполнения с применением кремнийорганического компаунда К–43 сушат в электрической печи при следующем режиме: при температуре 200°С – 15 ч., 220°С – 15 ч. После этого производится покрытие кремнийорганическими эмалями печной сушки. Режимы, в зависимости от марки, приведены в табл. 10–1. Практически удобнее пользоваться для покрытия эмалью марки ПКЭ–19. Качество пленки одинаковое. Принятые по внешнему виду катушки направляются на сборку полюса. Для лучшей отдачи тепла обмотку часто секционируют. В этом случае она изготовляется несколькими секциями на оправках, подобных рассмотренным. После намотки отдельных секций последние надеваются на изолированный миканитом каркас; между отдельными секциями ставятся дистанционные прокладки, прикрепляемые несколькими оборотами шнура, подвязываемого вокруг изолированного каркаса. Затем секции соединяются между собой последовательно скобочками или перевязкой соединяемых концов катушек тонкой луженой медной проволокой с соответствующей пропайкой оловом. При соединениях секций следует учитывать, что протекание тока в катушке при работе должно быть одного направления. Изоляция соединений секций производится лакотканью и сверху хлопчатобумажной лентой. Намотка параллельных катушек для крупных прокатных двигателей производится на станке из плоской голой меди, наматываемой на ребро. Витки наматываются на специальную стальную оправку. Процесс намотки и последующие операции аналогичны процессам изготовления катушек возбуждения синхронных машин (см. §10–5).

10–2. Намотка последовательной обмотки.

Витки последовательной обмотки наматываются большей частью из провода прямоугольного сечения. Они располагаются или поверх параллельной обмотки главного полюса, или же, рядом с ней. Если намотка последовательной катушки ведется поверх параллельной, то на последнюю накладываются два оборота изоляции из электрокартона толщиной 0,5 мм. На электрокартон наматывается необходимое число витков последовательной обмотки. Для скрепления намотанных витков, а также для закрепления выводных концов прокладывается крученый шнур. При намотке последовательных катушек на один каркас с параллельными раньше наматывается последовательная обмотка. Для отделения ее от параллельной между ними прокладывается изоляция из двух электрокартонных шайб толщиной 1 мм. Выводные концы крепятся несколькими оборотами крученого шнура, нанесенными вокруг последнего витка. При намотке на ребро заготовляется медь определенной длины. Медь рихтуется, затем нагревается при температуре 600°С и на специальной оправке выгибается по необходимой форме. После этого катушка подвергается травлению, опиливанию наплывов и заусениц. Лудятся выводные концы. Витки промазываются битумно–масляным лаком. Затем накладывается изоляция из микаленты вполнахлеста, количество слоев устанавливается в зависимости от заданной толщины; поверх этой изоляции накладывается один слой хлопчатобумажной ленты и временной киперной ленты. Катушка подвергается компаундировке, после чего снимается киперная лента с наплывами компаундной массы; вся поверхность покрывается покровным битумно–масляным лаком или серой эмалью воздушной сушки. Для нагревостойкого исполнения голая медь и поверхность каждого слоя наложенной теплостойкой изоляции из стекломикаленты промазываются тонким слоем кремнийорганического лака марки ЭФЗБСУ.

Защитной лентой служит стеклянная лента, пропитанная в кремнийорганическом лаке. После изолировки проводится тепловая обработка: сушка при температуре 120°С – 4 ч., сушка при температуре 180–190°С – 10 ч. Затем производится покрытие покровными кремнийорганическими эмалями. Режим сушки указан выше.

10–3. Намотка катушек добавочных полюсов.

Катушки добавочных полюсов наматываются из голого медного проводника прямоугольного сечения на стальные оправки или на изолированные каркасы и полюсы. Намотка катушек производится "от себя" в отличие от параллельных катушек, намотка которых производится "на себя".

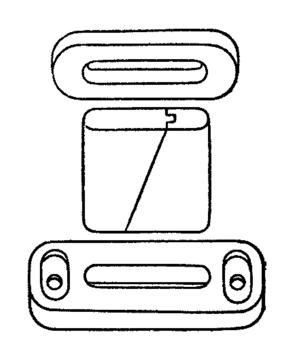


Рис. 10–4. Оправка для намотки добавочных катушек.

а. Намотка катушек на оправку.

Для этой цели служат стальные закаленные оправки, имеющие некоторый припуск по ширине и длине против размеров неизолированного стального сердечника полюса. На рис. 10–4 показана такая оправка, средняя часть которой разрезана наискось. В теле одной половины в плоскости разреза сделана по всей длине оправки выточка (канавка), на другой половине имеется выступ, который входит в выточку первой половины. Это делается для того, чтобы легко было выколотить оправку из намотанной катушки. На рисунке также видно, что оправка имеет две крайние шайбы, в которые входит средняя ее часть. Шайба, прилегающая при намотке к планшайбе станка, имеет два отверстия для крепежных болтов. Собранная оправка закрепляется со второй стороны центром задней бабки станка. Устройство зажима для протаскивания провода – такое же, как и для намотки параллельных катушек, с той лишь разницей, что здесь не требуется электрокартонных прокладок, так как медь применяется голая. Перед началом обмотки выпускается выводной конец будущей катушки и прикрепляется струбциной к планшайбе с таким расчетом, чтобы последующие витки ложились ребром, т. е. узкой стороной, на стальную оправку. Зажав медь болтами в зажимном приспособлении и этим создав необходимое натяжение, приступают к намотке катушки. Для изгиба меди на ребро на закруглениях оправки применяются специальные приспособления, изготовленные из стали и имеющие вид вилки. Внутренний размер ее делается немного более толщины проводника. Благодаря вилке проводник при намотке на оправку ложится под прямым углом. В процессе намотки катушки после каждого оборота проводник осаживается ударами ручника по фибровому клину, наложенному на медь. После намотки необходимого количества витков выпускается также второй выводной конец катушки, а затем при помощи шарнирных ножниц проводник обрезается и намотанную катушку снимают со станка вместе с оправкой, оставляя первую шайбу закрепленной на планшайбе. Средняя часть оправки выбивается, и катушка освобождается. Намотанная катушка связывается и затем поступает на отжиг (процесс отжига дан при описании изготовления катушек синхронных машин (см. §10–5). После отжига снимают пилой заусенцы и острые углы витков. Затем катушки рихтуются на специальном шаблоне, на котором им придается необходимая форма. Предварительно для параллельности витков производится прессовка с прокладкой между витками металлических пластин. Утолщения на углах, получаемые при намотке, снимаются фрезой, установленной в пневматическом приспособлении (шлиф–мотор). Готовые катушки надеваются на изолированные полюсы, на которых и закрепляются. Для этого у мест закругления прокладываются деревянные прокладки, пропитанные олифой или вареным маслом.

На нижнюю и верхнюю части катушек накладывается изоляция в виде шайб из электрокартона или миканита, смотря по условиям, в которых будет работать машина. Сверх изоляции накладываются стальные шайбы. Для изоляции витков друг от друга между ними обычно прокладывается в несколько рядов крученый шнур. По существу шнур является дистанционной прокладкой, отделяющей витки друг от друга и создающей хорошее охлаждение катушек. Иногда выводные концы закрепляются при помощи деревянных колодок и шнура или просто шнуром. Для крупных машин крайние витки дополнительных катушек изолируются микалентой или стекломикалентой. Защитная лента выбирается, соответственно, хлопчатобумажная или стеклянная в пропитанном виде. Между остальными витками прокладываются шайбы из миканита на глифталевом или кремнийорганическом лаках. Прокладки могут быть также из стеклотекстолита. Нижние и верхние шайбы полюса – из любого изоляционного материала или металла, и катушки в отдельности покрываются покровными эмалями. После этого катушки идут на сборку магнитной системы. Готовые полюсы испытываются напряжением, затем идут на просушку и последующую пропитку. На рис. 10–5 показан добавочный полюс в собранном виде.

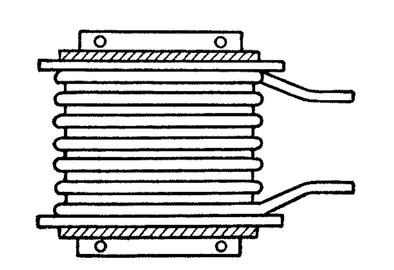


Рис. 10–5. Добавочный полюс.

б. Намотка катушек на полюс.

Намотка на полюс производится из меди различных сечений: 2×80 мм., 1,5×100 мм. или 2×60 мм. Катушки наматываются на изолированный сердечник полюса широкой стороной проводника; намотка ведется в два ряда. Она производится на тех же лобовых намоточных станках, что и при намотке на оправку. Перед намоткой катушек производят заготовку проводника. Для этого от бухты отрезают два куска такой длины, чтобы из них можно было намотать витки обоих рядов. Куски отрезанных проводников соединяют между собой до намотки соединительной пластиной (рис. 10–6, *а*). Пластины и прилегающие к ним части проводников склепываются и залуживаются. Конец одного отрезка проводника, из которого будет намотан внутренний ряд витков, соединяется тисками или струбциной с концом проводника, идущим от бухты. Второй конец этого отрезка укрепляется на планшайбе струбциной. При намотке первого ряда второй отрезок проводника временно остается обернутым около полюса; чтобы он не мешал во время намотки, его укрепляют.

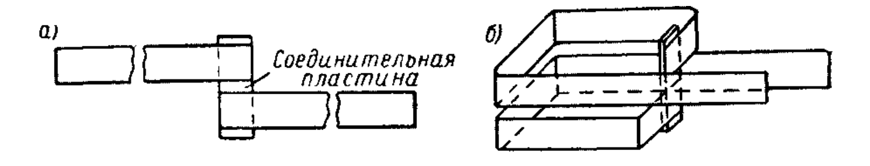


Рис. 10–6. Схема соединений и намотка двух отрезков проводника.

Под каждый виток проводника одновременно с намоткой прокладывается изоляция из электрокартона толщиной 0,3–0,5 мм. и шириной более ширины меди на 3–4 мм. (по 1,5–2 мм. на сторону), нарезаемая заранее. Во время намотки, как первого, так и второго ряда витков медь осаживается легким постукиванием ручника по фибровому клину, накладываемому на витки через каждые пол–оборота. После намотки первого ряда витков полюс снимается со станка.

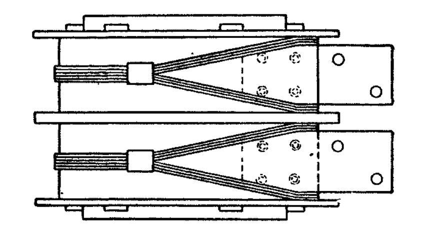


Рис. 10–7. Бандажированный добавочный полюс.

Первый намотанный ряд витков временно скрепляется бандажом из мягкой стальной проволоки, чтобы во время размотки витков второго ряда он не мог развертываться. Затем свободный конец отрезка меди, так же как и в первом случае, прикрепляется к меди бухты. Описанным выше способом производят намотку и второго ряда обмотки полюса, причем полюс устанавливается так, чтобы изменилось направление намотки (рис. 10–6, *б*). Между верхним и нижним рядами витков прокладывают изоляцию в виде шайб из пропитанного электрокартона толщиной 2 мм. и шириной на 5 мм. более ширины намотанного первого ряда. К обоим концам катушки после намотки приклепываются медные пластины (рис. 10–7). Для укрепления проводников катушки на полюсе накладывают бандажи из стальной луженой проволоки диаметром от 0,5 до 1 мм. с числом витков от 8 до 10. Наложение бандажей производится на том же станке. Под бандаж по всей окружности прокладывается изоляция из электрокартона толщиной 0,5 мм. Концы бандажной проволоки скрепляются скобами–замками по две на сторону, и весь бандаж пролуживается. Забандажированная катушка добавочного полюса показана на рис. 10–7. После бандажировки проверяют размеры полюсов с намотанной обмоткой, производят испытание высоким напряжением, затем они идут на просушку и пропитку.

10–4. Изолировка полюсных сердечников машин постоянного тока.

Изолировка сердечников, в зависимости от условия работы электрической машины, производится по следующим вариантам.
Вариант 1. Покрытие миканитом. Нарезанный ручными ножницами по определенному размеру миканит толщиной 0,9 мм. промазывается лаком и подогревается на электропечи до момента закипания слоя лака (смазанную сторону пластинки миканита располагают сверху). Миканитовые заготовки укладываются на плиту, помещаемую в индукционную печь. Миканит применяется твердый, формовочный. Полюсы перед покрытием миканитом очищаются и промываются сначала в бензине, а затем в спирте. Формовка заготовки изоляции полюса производится посредством копира (рис. 10–8), сделанного из полюса, к которому прикреплена ручка 2. Формовка осуществляется вручную, причем разогретые листы миканита укладываются на матрицу 3 и пуансоном 2 нажимают на разогретый лист миканита. Таким образом, заготовляется половина заготовки изоляции полюса (рис. 10–9).

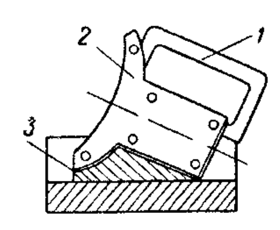
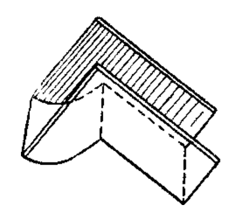


Рис. 10–8. Копир для формовки изоляции полюса.


Рис. 10–9. Заготовка изоляции полюса.

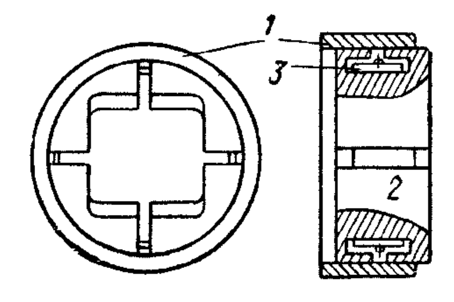


Рис. 10–10. Оправа для запрессовки изоляции корпуса.

Две половины таких заготовок в последующих операциях складываются вместе на полюс и запекаются. Полюс, обернутый миканитовыми половинками, вкладывается в предварительно нагретую в индукционной печи конусную разрезную оправку 2 (рис. 10–10), охваченную бандажом 5. Затем полюс запрессовывается винтовым прессом в предварительно нагретое конусное кольцо 1. Все приспособление вместе с полюсом разогревается до 170° С. Время нагрева 4 мин. Перед запрессовкой полюсы смазываются тонким слоем лака, причем большие полюсы предварительно разогреваются.

Оправка перед запечкой смазывается глицерином. После выпечки производят охлаждение приспособления вместе с полюсом сжатым воздухом, а затем распрессовку. По краям миканит обрезают и прокрашивают полюсы лаком №462.

Вариант 2. Покрытие микалентой или синтолентой. На очищенный от пыли и остатков масла сердечник наматывается микалента или синтолента шириной, равной высоте сердечника. Количество слоев зависит от необходимой толщины. Поверх микаленты накладывается временная киперная лента. Затем сердечник подвергается сушке и компаундировке по удлиненному процессу, о чем было сказано выше. Затем с сердечника снимается киперная лента, неизолированные части его очищаются от остатков компаундной массы. Поверхность сердечника, изолированного микалентой, по всему контуру покрывается влагостойкой серой эмалью воздушной сушки.

Вариант 3. Покрытие микафолием и синтофолием. Изоляцией сердечника может служить микафолий, стекломикафолий, синтофолий или стеклосинтофолий. Перед нанесением изоляции поверхность сердечника, подлежащая изолированию, покрывается глифтале–бакелитовым лаком или кремнийорганическим лаком К–40 50 – процентной концентрации при применении нагревостойкого стекломикафолия. Любой из указанных материалов после его наложения обутюживается. Стекломикафолий и стеклосинтофолий требуют особо тщательного разглаживания образовавшихся при утюжке морщин, которое производится рукой через тряпку. Изоляция на стеклянной основе более теплостойкая и требует специальной выпечки при высокой температуре. Сердечники изолированные нагревостойким стекломикафолием, зажимаются со всех сторон в специальное обжимное приспособление для тепловой обработки по следующему режиму: при температуре 120 – 140°С в течение 4 ч; при температуре 200 ±5°С в течение 4 ч. После этого производится покрытие кремнийорганической эмалью ПКЭ – 22 и сушка на воздухе в течение 2 ч и в печи при температуре 120 – 140°С в течение 10 – 12 ч. В случае отставания изоляции от сердечника рекомендуется ее подутюжить с промазкой лаком К–42 и последующей выпечкой.

Вариант 4. Покрытие бакелизированной бумагой или бакелизированным картоном.
Это покрытие производится также способом обутюжки.

Вариант 5. Покрытие стеклотекстолитом. Из пропитанной эпоксидно–резольным лаком (ЭР1–30) стеклоткани методом прессования в специальной пресс–форме при определенном режиме создается форма по периметру сердечника. Полученная стеклотекстолитовая изоляция насаживается на сердечник перед одеванием катушки. В настоящее время такая изоляция широко внедряется вместо слюдяной для сердечников полюсов машин постоянного тока.

10–5. Изолировка стержней компенсационной обмотки.

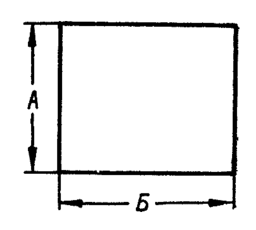


Рис. 10–11. Шаблон из картона.

Для стержней компенсационной обмотки машин постоянного тока применяется голая шинная медь большого сечения. В зависимости от исполнения машины выбирается тот или иной вид изоляции. Основными изоляционными материалами служит микафолий на бумажной подложке марки МФГ–Б и МФШ–Б или, на стеклянной подложке марки МФГ–Т и МФК–Т. Кроме того, в настоящее время также внедряется слюдопласт, наклеенный на стеклянную подложку термореактивным связывающим эпоксидно–идитоловым лаком. Полученный таким образом материал называется слюдопластофолий и обозначается ССФ–У, где С – стеклоткань, С – на втором месте "слюдопласт"; Ф – слюдопласт на флогопите; У – лак ЛЭФ–ЗУ. Толщина слюдопластофолия 0,17 мм. Любая из вышеуказанных видов изоляции наносится в виде полотна, предварительно нарезанного по шаблону из картона (рис. 10–11), выполненного с учетом размеров сечения стержня (рис. 10–12).

Размер заготовки: "Б" – длина прессуемой части стержня и "А" – ширина заготовки.

$$A = 2 \times n \times (\mathrm{a} + b + 2 \times \delta)\ K;\ n = \frac{\delta}{t}$$

где n –количество слоев изоляции; a – ширина стержня без изоляции; b – высота стержня без изоляции; δ – односторонняя толщина изоляции; К – 1,1 – коэффициент опрессовки.

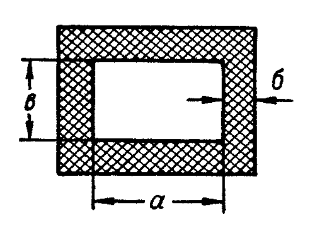


Рис. 10–12.
Сечение стержня.

Для исключения повреждения основного материала при обкатке и опрессовке поверх основного материала наносится стеклоткань или парафинированная бумага и также триацетатная пленка толщиной 0,08 мм. которые после опрессовки снимаются. Триацетатная пленка придает гильзе гладкую блестящую поверхность. Изолирование ведется следующим путем: поверхность стержня промазывается клеящим веществом, однородным с изоляцией. Например, при употреблении микафолия марки МФК–Т смазка кремнийорганическим лаком К–42 концентрации 40–45%, сушка лаковой пленки на воздухе не менее 30 мин, до прекращения отлипа. Полотно, нагретое на паровой или электрической плите до размягчения, плотно наматывается на стержень вручную (слюда полотна обращена к меди). Как известно, гильзовая изоляция независимо от рода связующего способна вспухать даже при недлительном хранении. Этот недостаток можно исключить, наложив поверх микафолия дополнительную оболочку из 2–3 слоев бумаги или стеклоткани, пропитанных в термореактивных лаках. В зависимости от основной изоляции стержня оболочка выполняется из пропиточной бумаги на лаке ЭР1–30 (эпоксидно–резольном) для микафолия на бумажной подложке и из стеклоткани, пропитанной в лаке ЭР1–30 или кремнийорганическом (К–42) для стержней, изолированных микафолием или слюдопластофолием на стеклотканевых подложках. Оболочка накладывается на изоляцию до ее обкатки, при этом начало подкладывается под край последнего оборота изоляции. Перед закладкой в обкаточный станок на оболочку стержней накладываются 2 оборота триацетатной пленки и 4–5 оборотов парафинированной бумаги (при изоляции стержней микафолием на бумажной подложке или слюдопластофолием), а на стержни, изолированные микафолием или слюдопластофолием на стеклянных подложках, 3–4 оборота непропитанной стеклоткани. Подготовленные таким образом стержни закладываются в обкаточный станок между щеками электронагревательных элементов и при температуре 200–250°С ведется обкатка в течение времени, указанного в табл. 10–2. После горячей обкатки стержни закладываются в пневматический пресс для прессовки при давлении 4–5 атм. до полного охлаждения (температуры окружающего воздуха). Затем стержни очищаются от парафинированной бумаги, ткани. Триацетатная пленка не снимается.

Таблица 10–2.

Количество слоев изоляции	Время обкатки, мин			
	Марка МФГ–Б МФШ–Б	Марка МФГ–Т	Марка МФК–Т	Слюдопластофолий ССФ–У
До 3–х	6–7	13–14	16–18	1,0–1,5
Свыше 3–х	8–10	15–16	19–20	1,5–2,0

Далее производится прессовка в гидравлическом прессе при температуре плит 130–140°С. Сначала дается низкое давление 25–30 атм. в течение 10 мин, потом высокое – 180– 200 атм. в течение 40–50 мин. Охлаждение под давлением. Стержни с изоляцией из микафолия марки МФК–Т прессуются в специальных многогнездных пресс–формах.

Последняя подогревается в электропечи до температуры 130–150°C, смазывается солидолом и после закладки в ее гнезде стержней устанавливается в гидравлический поршневой пресс. Поджимают пресс–форму при удельном давлении 30–35 кг/см², подтягивая винты. После этого ее устанавливают в электропечь и при температуре 200–220°C в течение 2 – 2,5 ч. производят тепловую обработку, отсчет времени ведется с момента достижения на пресс–форме температуры 180°C. После окончания режима выпечки пресс–форму ставят под пресс и охлаждают под давлением до температуры окружающего воздуха. Стержни, изолированные слюдопластофолием, после холодной прессовки очищаются от парафинированной бумаги (триацетатная пленка не снимается) и закладываются в гидравлический пресс для тепловой обработки. При температуре плит пресса 130–140°C изоляция сначала прогревается в течение 15 мин, затем выдерживается 45–50 мин под давлением не менее 7 кг/см². При этом же давлении ведется и охлаждение. Прессованные стержни очищаются от временной защитной изоляции и подвергаются окончательной отделке: зачистке, замывке концов. Готовые стержни всех вариантов после окончательной прессовки должны быть плотными, монолитными, иметь гладкую блестящую поверхность и при обстукивании металлическим предметом не должно быть глухого звука.

10–6. Изготовление роторной обмотки синхронных машин.

а. Заготовка катушек.

Намотка роторных катушек синхронных явнополюсных машин из плоской голой меди производится на специальном намоточном станке, конструкция которого позволяет производить намотку витков на ребро. Перед началом намотки медь, предназначенная для катушек, надевается на вращающийся вертикальный барабан, а затем пропускается через зажимное приспособление и через кулачки цепи, которая и подводит медь к станку. Регулировкой зажимного приспособления создается необходимое натяжение меди, наматываемой на оправку при вращении станка. Для лучшей теплоотдачи иногда катушки наматываются с так называемыми охлаждающими витками, т. е. через 2,3 или 4 нормальных витка делают один удлиненный виток, выступающий на 10–15 мм. со стороны торцов. При намотке таких катушек применяются стальные оправки (рис. 10–13), две половины которых раздвигаются в стороны на определенную величину. Для ускорения намотки небольшие катушки иногда наматывают одновременно двумя параллельными витками. После намотки такие катушки легко разъединяются. Намотанная на ребро медь принимает воронкообразный вид и, кроме того, становится жесткой (наклеп). Для уничтожения наклепа намотанные витки отжигаются в печах при температуре 400–500°C, а затем катушки погружаются в водяную ванну с содержанием 25% денатурированного спирта для устранения окислов и окалины. Но такая ванна не полностью очищает медь от окислов и окалины, поэтому катушки погружаются в раствор кислот, откуда медь выходит совершенно чистой. Далее, отожженные и очищенные катушки, витки которых имеют воронкообразную форму, поступают на выравнивание под пресс. Под каждый виток в закругленной его части подкладывается стальная закаленная пластинка; под давлением пресса витки выравниваются, затем поступают на снятие неровностей, забоин и заусенцев и, наконец, на комплектовку. В настоящее время имеются специальные приспособления для снятия неровностей на меди непосредственно при намотке; эти приспособления могут устанавливаться на намоточном станке. Комплектовка катушек заключается в подборе требуемого количества витков. В катушках, имеющих охлаждающие витки, должно быть соблюдено правильное чередование охлаждающих витков с нормальными. Припайка витков друг к другу производится серебряным припоем (сплав серебра с медью). Стыки припаиваемых мест при помощи сильного пламени паяльной лампы доводятся до температуры, достаточной для плавления серебряного припоя.

По мере нагрева место пайки посыпается бурой, и на нагретое место подается небольшая пластинка серебряного припоя. Контроль пайки производится перегибом в месте спайки в разные стороны приблизительно под углом 90°. При плохом выполнении пайки запаянное место ломается в стыке. После комплектовки витков к катушкам припаиваются выводы, которые сначала приклепываются к первому и последнему виткам катушки, а затем пропаиваются оловом. Выводы можно припаять на специальном сварочном аппарате твердым припоем, что упрощает технологию припайки и обеспечивает нужное качество. После этого катушки поступают на изолировку.

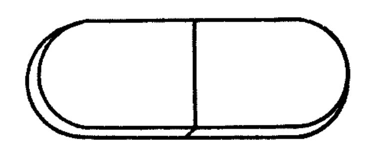


Рис. 10–13. Оправка намотки катушек.

б. Изолировка катушек.

В настоящее время вследствие значительной плотности тока в обмотках возбуждения синхронных машин, а следовательно, и нагревов, межвитковая изоляция делается исключительно из асбеста. Толщина асбестовой изоляции между каждым витком берется от 0,1 до 0,4 мм. Иногда после выпечки (см. далее) получается, что катушка имеет высоту менее требуемых размеров. В таком случае изоляцию утолщают, помещая между витками дополнительную прокладку. Перед наложением изоляции между витками катушку надевают на деревянный шаблон, и витки протирают сухой тряпкой. Размеры шаблона делают несколько меньше внутренних размеров катушки, чтобы ее было легче снять. Изоляция для витков катушек доставляется в готовом виде, т. е. вырезанной, пролакированной и высушенной. Витковая изоляция небольших катушек тихоходных машин выполняется из двух слоев асбеста толщиной 1–1,5 мм. и состоит из двух частей. Стыки слоев изоляции смещаются. На рис. 10–14, *а* и *б* показаны две изолированные шайбы, соприкасающиеся между собой, там же видно смещение стыков. Благодаря готовой изоляции, которая вкладывается между витками с торцов катушек, надетых на шаблон, время изолировки сильно сокращается. Большие катушки быстроходных машин подвешиваются к параллельным брусьям. Витки катушек протираются сухой тряпкой и далее промазываются глифтале–бакелитовым или Шеллачным лаком. Изоляция витков нарезается из асбеста. Для закругленных частей катушек она нарезается из четырехугольных кусков, для прямых частей – из полос. Полосы должны быть шире витка на 1–1,5 мм. на каждую сторону. Как закругленные части ("уголки"), так и полосы нарезаются двух сортов – одни короче, другие длиннее, для того чтобы при наложении изоляции второго слоя стыки уголков и полос были смещены относительно друг друга. Это мероприятие предохраняет от возможности виткового соединения между соседними витками. После наложения витковой изоляции, излишне выступающие части уголков срезают ножницами, и после просушки лака (на воздухе) катушки связывают и отправляют на следующую операцию – выпечку. Изолировку витков катушек можно вести без применения промазочных лаков, для этого асбестовую бумагу в рулоне необходимо предварительно пропитать на вертикальных или горизонтальных пропиточных машинах. Применение пропитанной изоляции снижает трудоемкость процесса изолировки и уменьшает вредность.

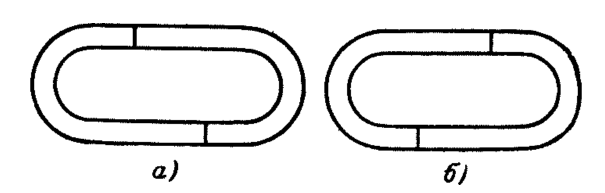


Рис. 10–14. Межвитковая изоляция.

в. Опрессовка и выпечка.

Небольшие катушки, имеющие просушенную изоляцию, укладывают в зажимное приспособление – пресс–форму по 4–5 катушек по высоте. Под нижнюю и верхнюю катушки (рис. 10–15) подкладываются изоляционные шайбы 5, а на них – массивные стальные кольца 4. В середину катушек вставляются деревянные бруски 3, стальные клинья 1 и деревянные бруски 2. Витки выправляются давлением клина 7. На кольца 4 ставятся 4–6 стальных брусков, на которые давят прессом, и, производя выпечку, доводят размеры катушки до требуемых. Иногда катушки больших размеров опрессовываются и выпекаются следующим образом. Изолированную катушку укладывают в зажимное приспособление – пресс–форму (на рис. 10–16) для придания ей под нагревом надлежащих размеров как внутренних, так и наружных. Снизу и сверху катушки подкладывают специальные стальные доски 1 с несколькими вырезами, сделанными по внутренним размерам катушки. В каждый вырез доски вставляют два конусных стальных клина, которыми внутренние размеры катушки раздаются до определенных размеров, как на прямой, так и на закругленных частях. С наружных сторон катушка сдавливается вертикальными планками 2 путем подвинчивания болтов. Пресс–формой поджимают катушку в прессе в горячем состоянии со всех сторон до получения требуемых размеров. Катушки, находящиеся в пресс–форме, подвергают небольшому давлению, которое в процессе выпечки постепенно увеличивают, доводя до такой величины, при которой опрессованные катушки принимают по высоте надлежащий размер. Нагрев катушек для выпечки лака производится от генератора постоянного тока напряжением 12В. Время выпечки катушек, имеющих просушенную витковую изоляцию, различно – от 20 до 40 мин, до прекращения выделения растворителя лака. Большие катушки, имеющие непросушенную асбестовую изоляцию, опрессовываются и выпекаются по одной. Время выпечки приблизительно 50 мин, в течение которых катушка нагревается постепенно до 180–200°С. Когда катушка остынет, ее ставят вторично под пресс, а затем проводят вторую выпечку; излишки лака выдавливаются, и растворитель его испаряется. С каждым таким нагревом лак все более повышает температуру своего плавления, для чего, в сущности, и применяется ряд горячих прессовок. После окончательной выпечки и охлаждения катушку вынимают из пресс–формы. Наружную и внутреннюю поверхности ее очищают от выступающей межвитковой изоляции с помощью специальных полукруглых скребков, причем изоляция срезается до меди. Наплывы лака и выступающую межвитковую изоляцию счищают для того, чтобы тепло при работе машины могло свободно выделяться из меди.

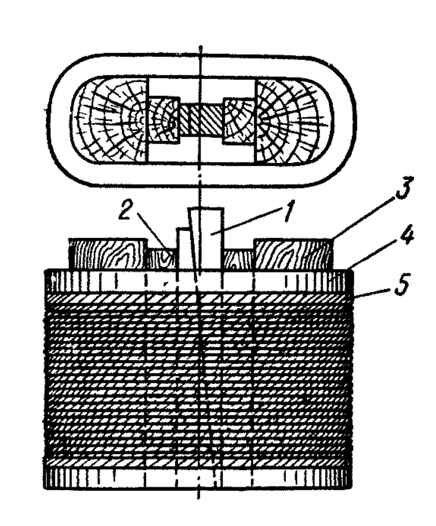


Рис. 10–15. Опрессовка катушек.

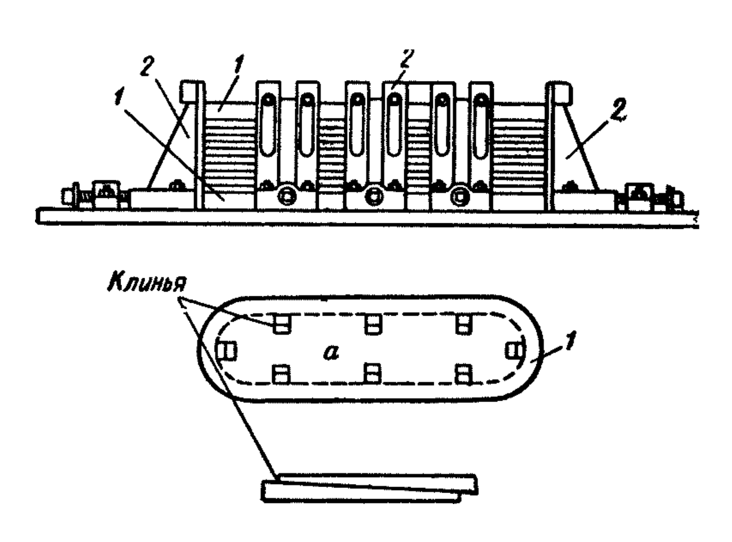


Рис. 10–16. Прессформа.

г. Изолировка полюсов и посадка катушек на полюсы.

После зачистки запеченных катушек от выступающей изоляции они насаживаются на изолированные стальные сердечники полюсов. Изолировка сердечников, как и витковая изоляция, выполняется из изоляционных материалов класса В. Перед изолировкой сердечника заусенцы должны быть спилены и сердечник протерт сухой тряпкой, после чего он промазывается лаком и сушится при температуре окружающего воздуха до прекращения отлипа, но не менее 30 мин. Затем сердечник обворачивается полосой батиста или другим хлопчатобумажным полотном шириной 30–40 мм. вокруг края, обращенного к статору, таким образом, чтобы половина полосы по ширине была наложена на сердечник, а половина свободно свешивалась. Этой частью полосы накрывают наложенную на сердечник изоляцию. Сначала наносят первые слои изоляции, состоящие из асбеста, предварительно пропитанного лаком. После асбеста накладываются слои микафолия. Высота накладываемых полос асбеста и микафолия равна высоте сердечника полюса. Каждый накладываемый слой изоляции проутюживается горячим утюгом и протирается сухой тряпкой для лучшего приклеивания. После наложения требуемого количества слоев изоляции оставшаяся часть полотна накладывается на последний слой микафолия и также проутюживается. Изолированный полюс помещается в специальное обжимное приспособление и устанавливается на 4 ч для выпечки изоляции в печь с температурой 130–140°С. Вынимается он из приспособления после полного остывания, и поверхность изоляции покрывается эмалью воздушной сушки. На изолированный сердечник надевается гетинаксовая изоляционная шайба, соприкасающаяся с башмаком полюса. Далее надевается катушка и поверх нее – опять гетинаксовая шайба. Собранный полюс подвергается испытанию под давлением. Полюс с насаженной катушкой ставят под пресс башмаком книзу. На гетинаксовую шайбу накладывают стальное кольцо, поверх которого ставят в 5–6 местах стальные квадратные бруски одинаковой высоты. Нажимом пресса на поставленные бруски катушке сообщается соответствующее давление. Это давление зависит от скорости вращения ротора, его диаметра и веса катушки и равно давлению, которое испытывают витки от центробежной силы при скорости вращения, превышающей нормальную, но допустимую по существующим нормам. Под этим же давлением катушки испытывают на витковое в течение 5 мин, а также и на корпус. При испытании на витковое дается повышенное напряжение на катушку, равное 10–кратному нормальному напряжению, приходящемуся на нее. После испытания катушек на корпус и витковое полюс с насаженной катушкой считается готовым и поступает в сборку.

Глава одиннадцатая
Укладка в пазы обмоток якорей и роторов.

11–1. Намотка якорей мелких машин.

Обмотки якорей мелких машин укладываются непосредственно в пазы якоря без предварительной заготовки секций. Достоинства такой обмотки следующие:
1) минимальные размеры вылетов лобовых частей обмотки, что дает значительную экономию обмоточного провода (для двухполюсных машин);
2) намотка ведется одним концом, что представляет известные удобства при работе и не дает отходов.

а. Подготовка якоря к обмотке.

Подготовка якоря к обмотке заключается в осмотре исправности стали якоря и в его изолировке. Изолировка якоря состоит из трех основных процессов:

1) изолировки пазов; 2) изолировки вала; 3) изолировки лобовых частей стали якоря. Пазовая изоляция состоит обычно из лакоткани, электрокартона, синтокартона или гибкого миканита толщиной 0,1 – 0,2 мм. и бывает одинарная, двойная или тройная. Одинарная изоляция состоит из одного слоя электрокартона, двойная – из одного слоя лакоткани и одного слоя электрокартона, тройная – дополнительно из одного слоя лакоткани. Одинарная изоляция применяется для якорей с небольшим рабочим напряжением (12 – 24 *в*). Двойная и тройная изоляция используется для якорей с рабочим напряжением 110 – 220 *в*. Нарезка пазовой изоляции (коробочек) производится с таким расчетом, чтобы вставленная в пазы якоря изоляция выступала за пределы стали на 1–2 мм. в каждую сторону. Наружная электрокартонная коробочка, обычно называемая проходной, нарезается шире лакоткани на 8 – 10 мм. для того чтобы удобнее было вкладывать проводники обмотки через шлиц стали, предотвращая этим порчу изоляции проводника. Вложенные в пазы изоляционные коробочки обжимаются на месте при помощи деревянных оправок, после чего стороны их плотно, прилегают к стенкам пазов. Этим устраняется возможность порвать коробочки, в особенности на углах, при осаживании обмотки клиньями. Для изолировки задней стороны вала со стороны, противоположной коллектору, где с ним может соприкасаться обмотка, на вал надевается изоляционная трубка из бакелизированной бумаги. Вал со стороны коллектора должен быть изолирован двумя–тремя слоями лакоткани. Для защиты лобовых частей обмотки их закрепляют при помощи куска батиста, разрезанного так, как показано на рис. 11–1. Батист надевают на вал, обертывают вокруг него и закрепляют шнуром. По окончании намотки якоря концами батиста (1, 2, 3 и т. д.) обертывают лобовые части обмотки и укладывают их в пазы под клинья, которыми крепится обмотка.

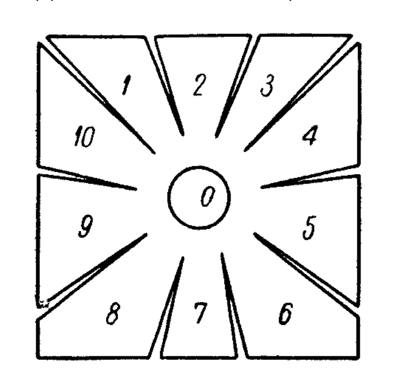


Рис. 11–1. Схема разреза куска батиста.

б. Намотка якоря.

После изолировки пазов и вала приступают к намотке якоря. При ручной намотке малых якорей их держат в одной руке, а другой ведут намотку по часовой стрелке. Катушка с проводником устанавливается возле обмотчика на деревянной подставке, на которой она может вращаться. По мере заполнения пазов проводником необходимо обмотку в пазу осаживать фибровым клином. Чтобы при этой осадке не повредить обмотки, фибровый клин натирают парафином. Намотку следует вести с натяжением и избегать перекрещивающихся витков как в пазах, так и в лобовой части, чтобы обмотка не занимала слишком много места.

При намотке необходимо следить за целостью изоляции проводника, а также за тем, чтобы вложенная в пазы изоляция не сдвинулась с места и не завернулась внутрь паза. Впоследствии, при испытании на корпус, это может вызвать пробой. Для изолировки верхних секций от нижних в пазы помещают электрокартонные прокладки толщиной от 0,1 до 0,15 мм. Рассмотрим для примера намотку якоря двухполюсной машины, имеющей следующие электрические данные:

1) обмотка петлевая;
2) число пазов 10;
3) число сторон секций в пазу 6;
4) число секций в якоре 30;
5) число витков в секции 37;
6) шаг по стали 4 (из 1–го в 5–й);
7) шаг по коллектору 1 (из 1–го во 2–й);
8) число коллекторных пластин 30;
9) число проводников в пазу 6 – 37 = 222.

Согласно этим данным, в пазу имеется 6 секций, которые можно разделить на 3 верхние и 3 нижние. Приступая к обмотке, начальный конец проволоки оставляют удлиненным и закрепляют на валу. Обмотка ведется одним проводом следующим образом (см. рис. 11–2):

из 1–го паза мотаем	в 5–й паз 3 секции
" 2–го " "	" 6–й " 3 "
" 3–го " "	" 7–й " 3 "
" 4–го " "	" 8–й " 3 "
" 5–го " "	" 9–й " 3 "
" 6–го " "	" 10–й " 3 "
" 7–го " "	" 1–й " 3 "
" 8–го " "	" 2–й " 3 "
" 9–го " "	" 3–й " 3"
" 10–го " "	" 4–й "3 "

Намотав из 1–го в 5–й паз одну секцию, состоящую из 37 витков, следует выпустить первую петлю длиной примерно 40 мм. Из второй секции выпускают петлю длиннее первой на 20–30 мм. а из третьей секции выпускается петля длиннее второй на 20–30мм. Вид выпущенных петель показан на рис. 11–2. Таким же способом наматываются 12 секций. 13–ю, 14–ю секции приходится наматывать из 5–го паза в 9–й. В 5–й паз на нижние стороны секций кладется электрокартонная прокладка, чтобы отделить верхние стороны секции во избежание витковых соединений. После намотки 13–й, 14–й и 15–й секций 5–й паз целиком заполнен, а 10–й паз совершенно свободен, остальные же пазы заполнены наполовину. Затем накладываются остальные 15 секций в указанном выше порядке, начиная с 6–го паза. После намотки 30 секций конец провода обрезается и свертывается вместе с начальным выпущенным концом первой секции. Все выпущенные петли являются по существу началом одной секции и концом другой. Далее петли очищают от изоляции, надевают на них трубочки из лакоткани и вкладывают их в соответствующие шлицы коллекторных пластин. Электрокартонные проходные коробки обрезают по высоте паза и с помощью фибрового клина осаживают обмотку, затем коробочки загибают вперекрой. Поверх загнутых коробок для укрепления обмотки в пазы забивают деревянным ручником фибровые клинья. На лобовую часть задней стороны якоря надевают чехол из батиста и укрепляют его путем подсовывания под забиваемые клинья по окружности якоря. В некоторых типах якорей считают удобным насадку коллектора производить после намотки якоря. Коллектор до насадки на вал подвергается электрическому испытанию на корпус и на соединения между пластинами.

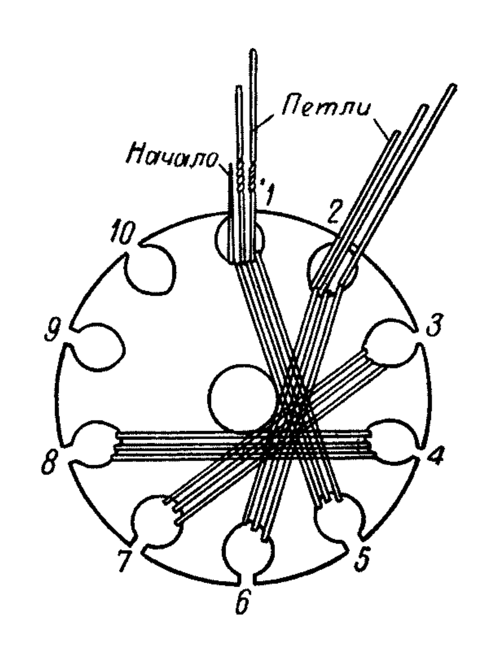


Рис. 11–2. Вид петель.

в. Соединение концов обмотки с коллектором и их пайка.

Для удобства закладки концов обмотки якоря в шлицы коллекторных пластин якорь устанавливается на деревянную подставку. Промежуток между лобовой частью обмотки и коллектором заполняется тафтяной или киперной лентой с таким расчетом, чтобы высота переходов концов не получилась выше коллектора.

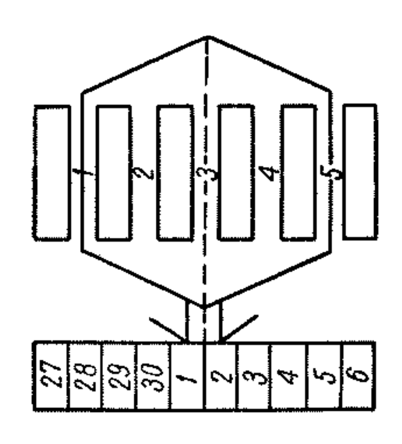


Рис. 11–3. Схема соединения концов обмотки.

Лента берется такой длины, чтобы, обернув ее вокруг вала необходимым количеством оборотов, получить конец ленты, достаточный для закрепления сверху концов обмотки. Перед вкладкой концов обмотки в шлицы следует расправить все петли так, чтобы они ложились в том порядке, в котором производилась намотка секций. Приступая к соединению концов обмотки с коллектором, следует руководствоваться данными обмотки. Нам известно, что шаг по пазам равен 4, обмотка петлевая, шаг по коллектору 1–2. Схема соединения концов обмотки дана на рис 11–3, где отмечены также номера пазов и пластин коллектора. Первая коллекторная пластина берется следующим образом. Проводим прямую линию посредине первой вложенной секции (эта линия проходит через паз 3) до пересечения с коллектором. Пересекаемая этой линией коллекторная пластина и будет первой. Если же линия попадает между пластинами, то первой считается левая. В эту пластину и должны быть вложены конец 30–й и начало 1–й секции. Во 2–ю пластину вкладывается, соответственно, конец 1–й и начало 2–й секции (петля между 1–й и 2–й секциями) и т. д. Концы обмотки вкладывают в шлицы коллектора при помощи фибрового клина или тонкой деревянной лопаточки. На вложенные концы надевается резиновое кольцо, чтобы удержать их от выпадения. При закладывании в шлицы каждый конец у коллектора змеевидно переплетается хлопчатобумажной лентой. Поверх переплетенных концов делается один оборот той же лентой. Поверх ленты ставится бандаж из крученого шнура толщиной 0,5–1 мм. Шнур накладывается сначала петлей А (рис. 11–4), на которую затем наматывается бандаж из того же шнура. Начиная намотку, бандаж удерживают пальцем, пока не наложат 2–3 оборота шнура в направлении, указанном стрелкой. Затем конец Б пропускается в петлю А и концом В подтягивается под наложенный бандаж. Затянув петлю, концы Б и В отрезают, и весь бандаж скрепления покрывают быстросохнущим лаком. Далее якорь передают на запайку концов обмотки в шлицах.

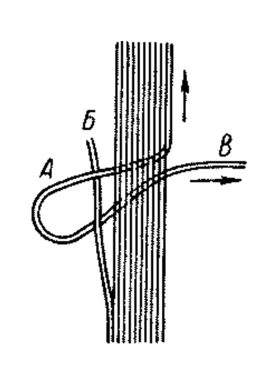


Рис. 11–4. Схема наложения бандажа.

г. Механизированная укладка обмотки.

Значительное повышение производительности труда при укладке обмотки якорей достигается применением специальных автоматических и полуавтоматических станков. Так как конструкция этих станков довольно сложна, а производительность велика, то их применение становится целесообразным при массовом производстве однотипных якорей. Имеющиеся станки позволяют механизировать процесс укладки обмотки якорей диаметром до 100–160 мм. и длиной до 400 мм. с обмоткой из провода круглого сечения диаметром до 1,5 мм. При механизированной укладке обмотки последовательные операции производятся различными станками. Имеются станки для изолировки паза перед укладкой обмотки, станки для самой укладки обмотки и станки для крепления обмотки в пазах после укладки. Наиболее сложными являются станки для укладки обмотки.

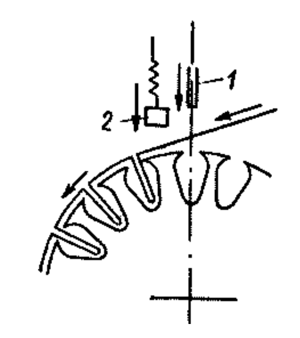


Рис. 11–5. Схема работы станка для изолировки паза.

Механизация этого процесса в имеющихся станках осуществляется тремя различными способами. По первому способу вращается якорь, при этом провод сматывается с неподвижной катушки и укладывается в соответствующие пазы с шагом, равным полюсному делению. После укладки необходимого числа витков одной катушки якорной обмотки концы проволоки отрезаются, якорь поворачивается в следующее положение и процесс повторяется до окончания обмотки всего якоря. По второму способу вокруг неподвижного якоря вращается устройство, направляющее провод и укладывающее витки катушки якорной обмотки в пазы. По третьему способу провод подается в паз неподвижного якоря челноком, движущимся вдоль паза. После каждого хода челнока якорь поворачивается на одно полюсное деление, совершая колебательное движение. Таким образом, при прямом ходе челнока укладывается провод одной стороны катушки, а при обратном ходе – провод второй стороны той же катушки. Как сказано выше, станки для укладки обмотки обладают высокой производительностью. Станок для укладки обмотки якоря с полузакрытым пазом имеет производительность в 10–12 раз больше, чем производительность при ручной укладке. Значительно более простыми являются станки для изолировки паза и для крепления обмотки в пазу. На рис. 11–5 показана схема работы станка для изолировки паза. Изоляционная лента, ширина которой равна длине паза, заправляется в паз пуансоном 1, удерживаясь в соседних пазах прижимом 2. После заправки ленты в паз якорь автоматически поворачивается на одно пазовое деление. Станок более сложной конструкции производит разглаживание заложенной ленты и придает ей форму паза. Схема работы станка для укрепления обмотки в пазу показана на рис. 11–6. Вместо клина применяется шнур, свернутый из бумажных лент. Шнур сдавливается между губками 1 и вдавливается в паз пуансоном 2. Внутри паза шнур расправляется вследствие своей упругости и хорошо уплотняет обмотку в пазу. Операция производится последовательно во всех пазах, после чего станок автоматически останавливается. По описанному принципу работают станки для изолировки и крепления обмотки в пазу Московского машиностроительного завода.

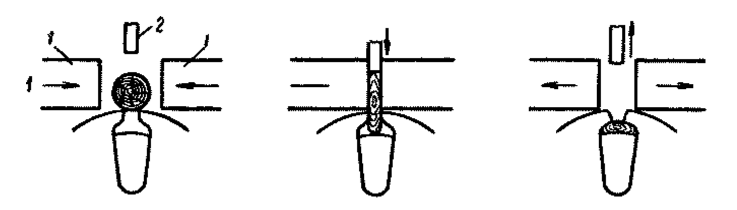


Рис. 11–6. Схема работы станка для крепления обмотки в пазу.

11–2. Укладка всыпной обмотки (мелких машин).

Перед укладкой всыпной обмотки необходимо изолировать: 1) лобовую часть стали якоря; 2) пазы и 3) вал. Изоляция пазов и вала выполняется так же, как и для ручной обмотки, рассмотренной выше. Для примера рассмотрим процесс вкладки в пазы якоря обмотки со следующими данными:

1) обмотка петлевая;
2) шаблон состоит из трех секций;
3) проводник круглый, марки ПЭШО (провод эмалированный с шелковой одинарной изоляцией);
4) число пазов 14;
5) число сторон секций в пазу 6;
6) число секций в якоре 42;
7) число витков в секции 22;
8) шаг по стали 7 (из 1–го в 8–й паз);
9) шаг по коллектору 1 (1–2);
10) число коллекторных пластин 42;
11) число проводников в пазу 132.

Сначала укладываются первые семь шаблонов правыми нижними сторонами соответственно в 8–й, 9–й, 10–й, 11–й, 12–й, 13–й и 14–й пазы (счет пазов производится по часовой стрелке со стороны коллектора); левые стороны этих шаблонов временно не вкладываются в пазы якоря. Стороны укладываемых шаблонов опускаются в пазы секционно. Каждая секция шаблона обжимается в пазу фибровым клином для лучшего его заполнения. Далее, в 1–й паз укладываются нижние секции 8–го шаблона, т. е. его правая сторона, а верх (левая сторона) вкладывается в 8–й паз, где лежит уже нижняя сторона 1–го шаблона. Перед укладкой верхних сторон шаблонов на нижние стороны накладывают электрокартонную прокладку для предупреждения возможного виткового соединения. 9–й шаблон укладывается правой стороной на низ 2–го паза, а верх его – в 9–й паз на нижнюю сторону 2–го шаблона. Затем также укладываются остальные шаблоны в соответствующие по шагу пазы, после чего опускаются верхние стороны не полностью уложенных шаблонов в 1–й, 2–й, 3–й, 4–й, 5–й, 6–й и 7–й пазы якоря. После укладки обмотки обрезают излишки проходных коробочек, а стороны их загибаются в пазу вперекрой. Сверх загнутых коробочек ставят фибровый клин, как это показано на рис. 11–7. Лобовую часть обмотки укрепляют со стороны, противоположной коллектору, для чего под изоляционную трубку во время насадки ее на вал подкладывают конец батиста и закрепляют его наложением веревочного бандажа. На рис. 11–8 изображен изолированный якорь с батистовым чехлом.



Рис. 11–7. Разрез паза.

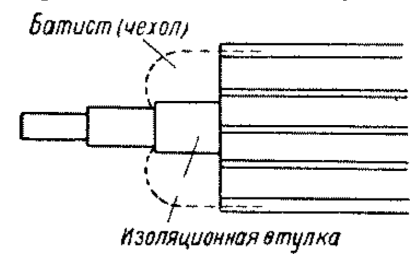


Рис. 11–8. Наложение батистового чехла.

Пунктиром показано, как будет загибаться батист на лобовую часть обмотки. По другому методу крепление лобовой части обмотки производится путем связывания лобовых частей шпагатом или полотняной лентой. Лента укрепляется на валу до намотки, а после намотки ее концами стягивают последние катушки, которые укрепляются шпагатом, как показано на рис. 11–9. Якоря более крупных машин с всыпной обмоткой вкладываются аналогично, а вместо фибровых клиньев устанавливаются деревянные.

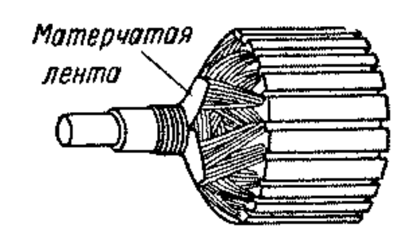


Рис. 11–9. Закрепление секций.

11–3. Укладка якорных шаблонных обмоток.

а. Подготовка якоря к обмотке.

Предназначенный к обмотке якорь укладывается на две подставки таким образом, чтобы вал концами опирался на них. При таком положении якоря удобно производить все намоточные операции, так как он легко поворачивается. Уложив якорь на подставки, производят подготовительные работы, которые состоят из проверки стали якоря и коллектора. Сталь якоря тщательно очищается при помощи металлической щетки или продувкой струей сжатого воздуха от посторонних тел, которые могут остаться на якоре при механической обработке, пропиловке и рихтовке в сталесборочном цехе или при транспортировке из механических цехов в обмоточные.

Якорь внимательно осматривают, чтобы определить, нет ли в пазах острых краев стали, кромок, заусенцев и т. д., так как наличие их опасно для обмотки; изоляция ее может быть повреждена при вкладке. Обнаружив указанные дефекты, их тут же устраняют. Затем пазы якоря окрашивают (кистью или пульверизатором) быстросохнущим лаком. Убедившись в отсутствии повреждений, коллектор до вкладки секций в пазы подвергают электрическому испытанию. При этом проверяют, нет ли соединений между пластинами и определяют состояние изоляции между пластинами и корпусом. Первое испытание производится переменным или постоянным током напряжением 110–220 *в*. Схема испытания представлена на рис 11–10. Концами 1–1 касаются двух лежащих рядом пластин, причем контрольная лампочка 2 не должна загораться. Загорание лампочки будет указывать на соединение между проверяемыми пластинами. Обычно место соединения легко отыскивается, и повреждение устраняется. Испытание на корпус производится от специального трансформатора, дающего возможность получить любое высокое напряжение, необходимое для испытания. Величина испытательного напряжения берется в зависимости от рабочего напряжения якоря. Схема испытания и нормы для испытания приведены в гл. 15. После осмотра якоря, окраски его пазов и испытания коллектора производится изолировка обмоткодержателей якоря.

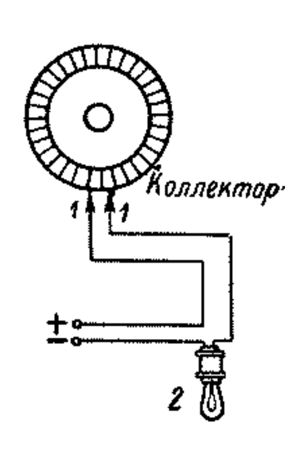


Рис. 11–10. Схема испытания на соединение между пластинами.

б. Изолировка обмоткодержателей.

Конструктивное выполнение обмоткодержателей различно. Большинство якорей имеет одинаковую форму обмоткодержателей, но встречаются якоря, имеющие различные формы обмоткодержателей на каждой из сторон. Это различие видно из сравнения рис. 11–11 и 11–12. Изолировка каждого обмоткодержателя различна. Наружная поверхность обмоткодержателя задней стороны якоря (обод) окрашивается лаком. После окраски на нее по всей окружности накладывается полоса хлопчатобумажной ткани шириной, немного больше, чем тройная ширина обмоткодержателя. Она накладывается так, чтобы с обеих сторон обмоткодержателя свисала одинаковой ширины полоса ткани. Полоса эта укрепляется шпагатом, который затягивается посредине в выточке обмоткодержателя, как это видно на рис. 11–11. Часть ткани, лежащая на ободе, промазывается лаком. Поверх шпагата и ткани накладываются заранее заготовленные полосы картона или гибкого миканита шириной более ширины обмоткодержателя приблизительно на 10–15 мм. Первый наложенный ряд картона или миканита промазывается лаком, на него накладывается вторая полоса картона или миканита и т. д. Общая высота всей наложенной изоляции (картона или миканита) рассчитывается так, чтобы после укладки всех секций в пазы якоря и наложения бандажа диаметр лобовой части якоря не выходил за пределы диаметра стали якоря. Для этого необходимо произвести предварительный подсчет общей высоты, состоящей из толщины изоляции обмоткодержателя, высоты лобовой части обмотки, толщины изоляции под бандаж и толщины всех слоев проволоки бандажа. Наложенная изоляция промазывается сверху и с боков лаком, после чего ткань, предварительно подрезанная по ширине в 6–8 местах с обеих сторон для лучшей укладки на обмоткодержатель, загибается на изоляцию и тщательно выравнивается, чтобы на ней по всей окружности не было пузырей и крупных морщин. Этим заканчивается изолировка обмоткодержателя задней стороны.

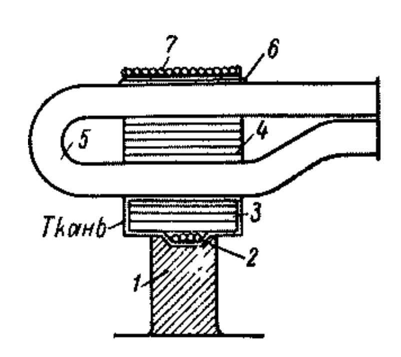


Рис. 11–11. Обмоткодержатели задней стороны. 1 – обмоткодержатель; 2 – шнур; 3 и 4 – электрокартон в несколько слоев; 5 – лобовая часть обмотки; 6 – электрокартон под бандажом; 7 – бандаж.

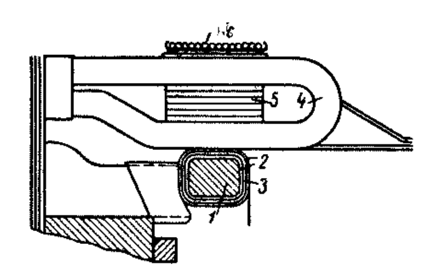


Рис. 11–12. Обмоткодержатель передней стороны. 1 – обмоткодержатель; 2 – киперная лента; 3 – лакоткань; 4 – лобовая часть обмотки; 5 – электрокартон в несколько слоев; 6 – бандаж.

Обмоткодержатель передней стороны якоря представляет собой кольцо, укрепленное на ребрах (рис. 11–12). Для изолировки такого обмоткодержателя кольцо по всей окружности смазывается лаком и обертывается четырьмя–пятью слоями киперной или миткалевой ленты толщиной 0,25–0,30 мм. Поверх ленты наматывается лакоткань толщиной 0,20–0,30 мм. в один слой вполнахлеста. Общая толщина изоляции подбирается из того же расчета, что и для обмоткодержателя задней стороны якоря. Некоторые обмоткодержатели целиком прилегают одной стороной к стали якоря. Обмоткодержатели этого типа якоря, как видно из рис. 11–13, имеют одинаковую конструкцию, как с задней, так и с передней стороны. Наружные края обода обмоткодержателя закруглены. Вследствие одинаковой конструкции изолировка обоих обмоткодержателей одинакова. У части якорей машин постоянного тока общепромышленного исполнения, а также поставляемых на экспорт в страны с умеренным и тропическим климатом обмоткодержатели имеют сегментную стеклотекстолитовую изоляцию, указанную на рис. 11–14. Как видно из рисунка, сегментная изоляция состоит из двух слоев сегментов, спрессованных из стеклянной ткани марки "Э" толщиной 0,1 мм. пропитанной в эпоксидно–резольном лаке ЭР1–30.

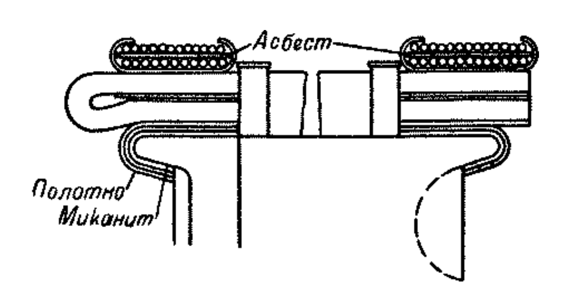


Рис. 11–13. Обмоткодержатель, изолированный миканитом и полотном.

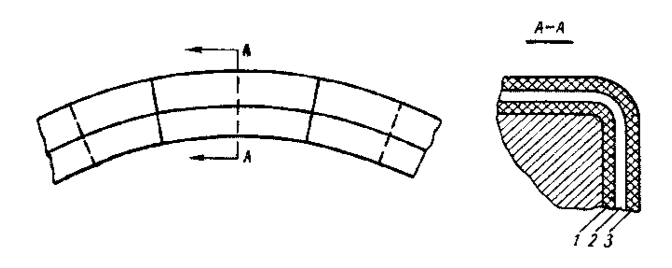


Рис. 11–14. Сегментная стеклотекстолитовая изоляция. 1 – внутренний слой; 2 – два слоя стеклоткани; 3 – наружный слой.

Сегменты наружного слоя должны устанавливаться на сегменты внутреннего слоя с перекроем наполовину. Между слоями сегментов прокладывается два слоя стеклянной ткани толщиной 0,1 мм. Каждый ряд сегментов располагается встык, предварительно сегменты промазываются лаком ЭР1–30 и просушиваются на воздухе не менее 30 мин. Сегменты должны плотно прилегать к обмотокодержателю.

При изоляции класса F промежуточный слой стеклянной ткани пропитывается или промазывается лаком ЭР1–3Ф с подсушкой на воздухе не менее 30 мин. Для большей плотности сегменты можно прибандажировать стеклянной лентой, пропитанной также в лаке ЭР1–30. Якорь с изолированными обмоткодержателями подвергается сушке в печи при температура 120–130°С в течение 8 ч.

в. Укладка обмотки.

Пазовая часть шаблона опрессована микафолием в горячем состоянии. Шаблон имеет несколько самостоятельных секций. Перед вкладкой шаблона в пазы якоря вставляют изоляционные коробочки из электрокартона. Длина коробочек должна быть равна длине пазовой изоляции шаблона. Вложенная в паз коробочка должна выходить поверх паза на 20–25 мм. с каждой стороны для удобства вкладки шаблона (рис. 11–15). Толщина и высота коробочек подбирается обмотчиком в зависимости от размеров паза и опрессовки пазовой изоляции шаблона. Например, если ширина паза 9 мм. высота 23,5 мм. а ширина шаблона 8 мм. и высота 11 мм. т. е. высота двух шаблонов, лежащих в пазу, будет равна 22 мм. то изоляционную коробочку надлежит поставить толщиной 0,4 мм. и высотой 43–45 мм. для загиба вперекрой концов коробочки. Лишняя высота коробочки после вкладки обмотки обрезается. При этом получится, что пазовая часть шаблона вместе с изоляционной коробочкой имеет ширину 8,8 мм. Остающееся место по высоте паза после закладки в него всех шаблонов и загиба концов коробочек заполняется прокладкой из электрокартона. Для увеличения прочности изоляционных коробочек вместо одной коробочки толщиной 0,4 мм. лучше поставить две по 0,2 мм. Прежде чем приступить к вкладке шаблона в пазы, необходимо знать шаг по пазам (зубцовый шаг) и шаг по коллектору. В качестве примера рассмотрим вкладку обмотки, схема которой дана на рис. 11–16. В каждом шаблоне здесь имеется по три секции. Зубцовый шаг для этой обмотки равен 9, а шаг по коллектору равен 58. Из данной схемы видно, что одна сторона шаблона лежит в 1–м пазу, а вторая – в 10–м. Для отметки шага на стали якоря на двух зубцах, справа и слева от 1–го и 10–го пазов, делают условные пометки зубилом или кернером, или набивают номера. Шаг по коллектору отмечается таким образом: находят коллекторную пластину, в данном случае лежащую против 6–го зубца стали (середина зубцового шага или середина шаблона), и от нее отсчитывают влево 29 коллекторных пластин; найденная пластина будет первой. От первой пластины отсчитывают вправо по часовой стрелке пятьдесят девятую пластину. Эти две найденные пластины (1–ю и 59–ю) отмечают кернером или набивают на них номера на торцовой стороне. Вкладка шаблонов производится следующим образом: берут шаблон и нижней стороной вкладывают его в отмеченный 10–й паз. Затем легким постукиванием ручника по деревянному или фибровому клину, входящему в паз, нижнюю сторону шаблона осаживают на дно паза. При ударах по клину необходимо передвигать его вдоль пазовой части шаблона, следя за тем, чтобы шаблон входил равномерно и без перекосов. При этом между верхней и нижней сторонами шаблона каждого паза прокладывается прокладка.

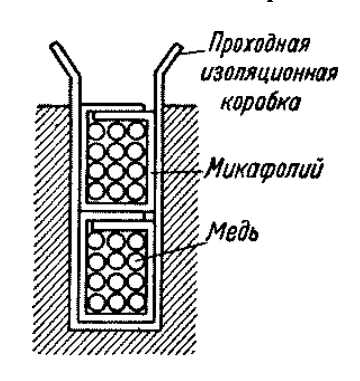


Рис. 11–15. Разрез паза с коробочкой

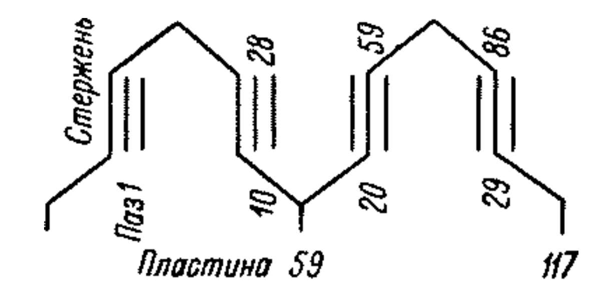


Рис. 11–16. Схема обмотки.

При вкладке шаблона надо следить, чтобы он ложился в паз правильно, т. е. чтобы концы его, обращенные в сторону коллектора, были одинаковы; расстояния от края якорной стали до перехода пазовой (прямой) части в лобовую должны быть также одинаковы с обеих сторон. Верхняя сторона шаблона временно остается не вложенной в 1–й паз. Таким же способом вкладывают нижние стороны восьми других шаблонов, т. е. заполняют пазы, лежащие на протяжении зубцового шага. Верхние стороны этих девяти шаблонов остаются не вложенными до окончания укладки всех остальных шаблонов. Одновременно с вкладкой шаблонов в их лобовых частях, между верхней и нижней сторонами секций, прокладывается изоляция, состоящая из полос электрокартона в несколько слоев определенной толщины (2–4 мм. несколько меньше двойного радиуса головка), скрепленных хлопчатобумажной лентой вразбег. Полосы электрокартона рассчитываются так, чтобы после вкладки всех шаблонов его концы совпали встык, причем стыки каждого последующего слоя сдвигаются по отношению к предыдущему. Эта изоляция видна на рис. 11–17 и служит для предохранения от соединения между верхними и нижними сторонами шаблонов в лобовых частях. Затем якорь поворачивают и в 19–й паз закладывают низ 9–го шаблона. Шаблон предварительно продевается лобовыми частями под описанную выше межслойную изоляцию, как с передней, так и с задней стороны якоря. Верхняя сторона этого шаблона попадает в 10–й паз, где уже лежит нижняя сторона 1–го шаблона. Таким образом, 10–й шаблон укладывается в пазы своими обеими сторонами. Подобным образом полностью закладываются все остальные шаблоны, после чего поднятые верхние стороны девяти первых шаблонов закладываются в соответствующие пазы, в которых уже лежат нижние стороны других (последних) шаблонов. Во время вкладки необходимо следить за правильностью положения шаблонов относительно стали якоря и выравнивать их ударами ручника по фибровому клину. После вкладки всех шаблонов приступают к соединению секций шаблона с коллекторными пластинами. Чтобы удобнее вкладывать концы обмотки в шлицы коллекторных пластин, загибают все верхние концы секций кверху. Перед вкладкой концов необходимо проверить правильность их вывода из пазов, т. е. нет ли перепутанности так называемых "крестов". Эту проверку производят контрольной лампой. Концами от лампы касаются начала и конца каждой секции, причем контрольная лампа должна гореть. Начало и конец первой секции отмечается. Убедившись в правильности выведенных концов всех секций, вкладывают отмеченный конец нижней стороны первой секции, лежащей в 10–м пазу, в шлиц 59–й пластины коллектора. Конец нижней стороны второй секции этого шаблона вкладывают в шлиц 60–й коллекторной пластины; конец нижней стороны 3–й секции этого же шаблона вкладывают в шлиц 61–й коллекторной пластины, передвигаясь по коллектору по направлению часовой стрелки. Концы секций забирают в шлиц, легко постукивая по ним ручником. После закладки всех нижних концов в соответствующие коллекторные пластины на них по изолированной части наматывается бандаж из киперной ленты в несколько рядов по всей окружности. Затем в шлицы вкладываются концы верхних сторон секций: конец верхней стороны 1–й секции вставляется в шлиц первой помеченной коллекторной пластины; концы верхних сторон других двух секций этого шаблона вставляют соответственно во 2–ю и 3–ю пластины (по направлению часовой стрелки).

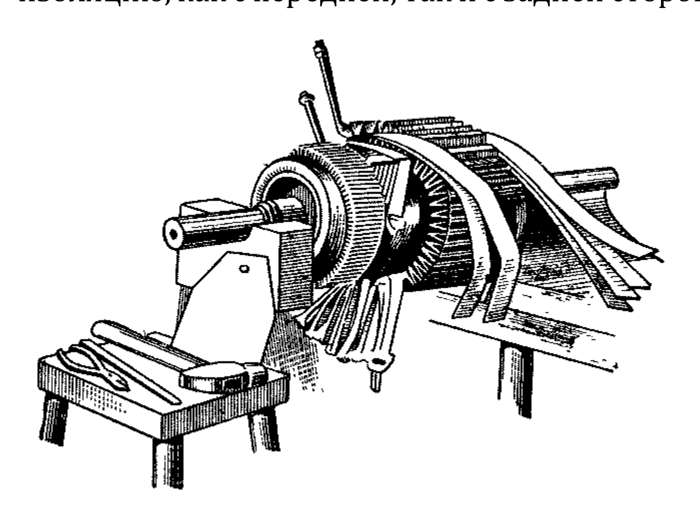
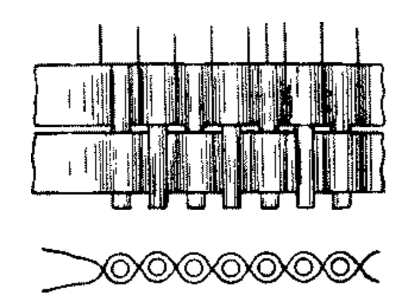


Рис. 11–17. Якорь в начале обмотки.


Рис. 11–18. Изолировка концов коллектора.

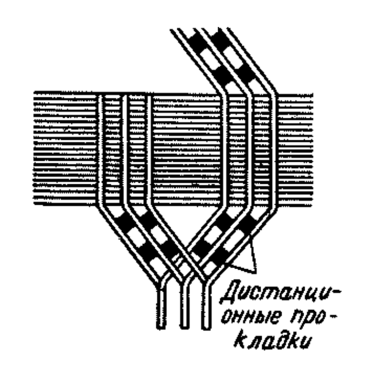


Рис. 11–19. Расположение дистанционных прокладок.

Таким же образом укладываются концы всех остальных верхних секций в соответствующие шлицы коллекторных пластин. Во время укладки верхние концы секций около коллекторных пластин необходимо переплести змеевидно хлопчатобумажной лентой. Это делается так: отрезается лента длиной, равной приблизительно полуторной длине окружности коллектора, и концом ее завязывается вложенный верхний конец первой секции; на ленту сверху кладется верхний конец второй секции, далее лента идет поверх верхнего конца третьей секции и т. д. Выходной конец ленты скрепляется с ее началом. Назначение такого переплетения верхних концов – предохранить рядом лежащие концы от соединения между собой. Вид переплетения показан на рис. 11–18. Заложенные в пазы шаблоны снова осаживаются ударами ручника по фибровому клину. Свободное по высоте место в пазу заполняется полосками электрокартона, длина и ширина которых должны соответствовать размеру паза. Коробочки отрезаются по высоте с таким расчетом, чтобы стороны их могли перекрыть одна другую. Со стороны, противоположной коллектору, лобовые части шаблонов оправляются, рихтуются и между отдельными сторонами шаблонов ставятся дистанционные прокладки из электрокартона (рис. 11–19) По окончании этих операций якорь подается на испытание на корпус и правильность соединения и после проверки поступает на запайку концов, вложенных в шлицы коллекторных пластин. В случае применения обмотки на кремнийорганической изоляции активное железо якоря и обмоткодержатели покрываются кремнийорганической эмалью. На дно паза и между катушками кладутся прокладки из нагревостойкого миканита, и ими же заполняются свободные места по высоте паза.

11–4. Укладка стержневых секций.

а. Укладка секций при отсутствии уравнителей.

После того как обмоткодержатели обеих сторон будут изолированы, приступают к установке изоляции паза якоря. Изоляция здесь зависит от условий, в каких будет работать машина. Например, пазовую изоляцию ставят из электрокартона, пропитанного лаком, или гибкого миканита. Непропитанный электрокартон редко употребляется вследствие его гигроскопичности. В качестве примера рассмотрим укладку волновой обмотки, схема которой дана на рис. 11–20, а выполнение пазовой изоляции – на рис. 11–21. Заложив приготовленную заранее пазовую изоляцию в пазы якоря, отмечают зубцовый и коллекторный шаги таким же образом, как и при вкладке многовитковой секции. На схеме (рис. 11–20) зубцовый шаг равен 16, а коллекторный шаг равен 32. Приступая к укладке обмотки в пазы, конец нижней стороны секции сперва продевают в ушко, соответствующее 33–й коллекторной пластине, а пазовую часть нижней стороны опускают на дно 17–го паза постукиванием ручника по деревянному или фибровому клину. Длину клина желательно иметь равной длине пазовой изоляции, чтобы как секция, так и изоляция паза осаживались по всей длине равномерно. Концы первой секции для проверки шага по коллектору помечаются. Когда нижняя сторона секции уложена в паз, верхняя сторона остается временно невложенной и как бы висит в воздухе.

Таким же способом помещаются все остальные секции: вначале нижний конец секции вкладывается в ушко коллекторной пластины, а нижняя пазовая часть – в паз; верхняя часть секции остается невложенной в пазы. Между лобовыми частями секции с обеих сторон, так же как и в предыдущем случае, ставится межслойная изоляция из электрокартона или миканита. Перед укладкой верхних сторон секций помещают в паз электрокартонную или миканитовую прокладку. Длина прокладки должна быть больше прямой части секции на 5 мм. Конец верхней стороны первой секции вставляется в ушко первой помеченной коллекторной пластины, и в 1–й помеченный паз укладывается ее пазовая часть. После закладки всех секций пазовую часть обмотки осаживают при помощи деревянного или фибрового клина. Выступающую поверх паза изоляцию обрезают до надлежащего размера, и концы ее загибают друг на друга вперекрой, как указано на рис, 11–21. Для укрепления секций в пазы забиваются гетинаксовые или буковые, а для особо ответственных машин стеклотекстолитовые клинья Они должны плотно сидеть в пазу и своей нижней плоскостью плотно прижимать пазовую часть обмотки.

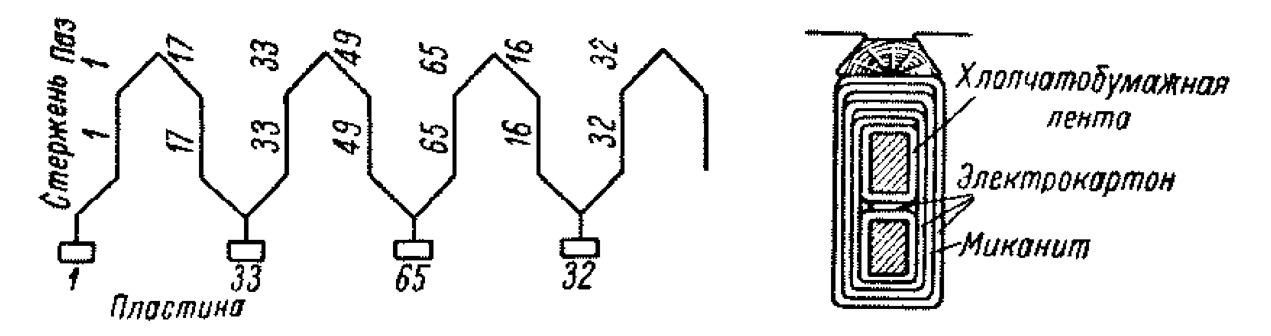


Рис. 11–20. Схема обмотки.

Рис. 11–21. Разрез паза с обмоткой.

Верхняя часть клина не должна выступать за пределы стали паза; выступающие клинья опиливаются. Чтобы при забивке клиньев не повредить изоляции паза, концы клиньев закругляют. После забивки клиньев производят оправку, осадку и рихтовку лобовых частей обмотки при помощи деревянного клина, металлической лопатки и ручника. В лобовых частях между отдельными стержнями ставятся дистанционные прокладки из электрокартона, пропитанные в масле. Дистанционные прокладки обычно устанавливаются там, где будет поставлен бандаж. Если вылет обмотки более 120 мм. то ставят две прокладки. Этим достигается одинаковое расстояние лобовых частей секций друг от друга, а также плотность в лобовой части обмотки и исключается опасность соединения витков соседних секций. Кроме того, благодаря дистанционным прокладкам между сторонами секций образуется свободное пространство, куда легко проникает воздух, охлаждающий обмотку. Во время осадки лобовых частей на них ставят для обжима временные бандажи (2–3 оборота стальной мягкой проволоки, под которую подкладывают электрокартон, чтобы не повредить изоляцию). Бандаж во время осадки лобовых частей все время подтягивается путем скручивания плоскогубцами концов проволоки. После осадки и оправки лобовых частей обеих сторон на стороне коллектора в ушки между вложенными верхними и нижними концами секций вбивают медные залуженные клинышки, равные ширине ушка. Они служат для заполнения ушка и способствуют лучшей запайке. Между отдельными ушками вбивают временные конусные деревянные клинья для лучшего обжатия ушек, а также для их выправки. После забивки клиньев якорь поступает на обрезку концов стержней, выходящих из петушков.

б. Укладка полусекций при наличии вилкообразных уравнителей.

При укладке обмотки в пазы сначала укладываются уравнительные соединения на задней стороне якоря. На изолированный обмоткодержатель накладывается заранее заготовленная для головок уравнительных соединений гетинаксовая гребенка, состоящая из двух половин и имеющая число впадин, равное числу головок соединения. В эти впадины укладываются головки уравнительных соединений, как указано на рис. 11–22. На концах уложенного первого уравнителя делается отметка (откусыванием острогубцами его углов). При укладке уравнительных соединений, поверх уложенных трех–четырех уравнителей наматывают два оборота хлопчатобумажной ленты, а остальные уравнители укладывают подсовыванием их под ленту, которая их и удерживает. Между верхним и нижним стержнями уравнителей ставится электрокартонная прокладка толщиной от 1 до 5 мм. по ширине равная расстоянию от края бакелитовой гребенки до начала загиба лобовой части. На рис. 11–23 дана в виде примера схема петлевой обмотки с вилкообразными уравнителями. Зубцовый шаг равен 16. Концы уложенных уравнителей связываются лентой или вязальной проволокой по шагу, согласно схеме соединения уравнителей. После выполнения временного соединения всех уравнителей поверх них ставят два временных бандажа, каждый из двух оборотов мягкой стальной проволоки. Один бандаж – посредине, второй – у места загиба концов, после чего уравнители выравнивают подбиванием одного стержня к другому, выдерживая размер вылета. После этого якорь с наложенными уравнителями передается на бандажировочный станок (установку бандажей см. ниже)

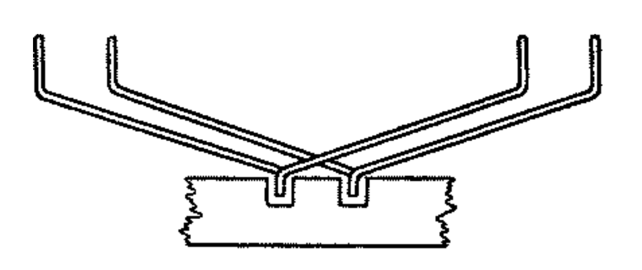


Рис. 11–22. Расположение уравнительных соединений.

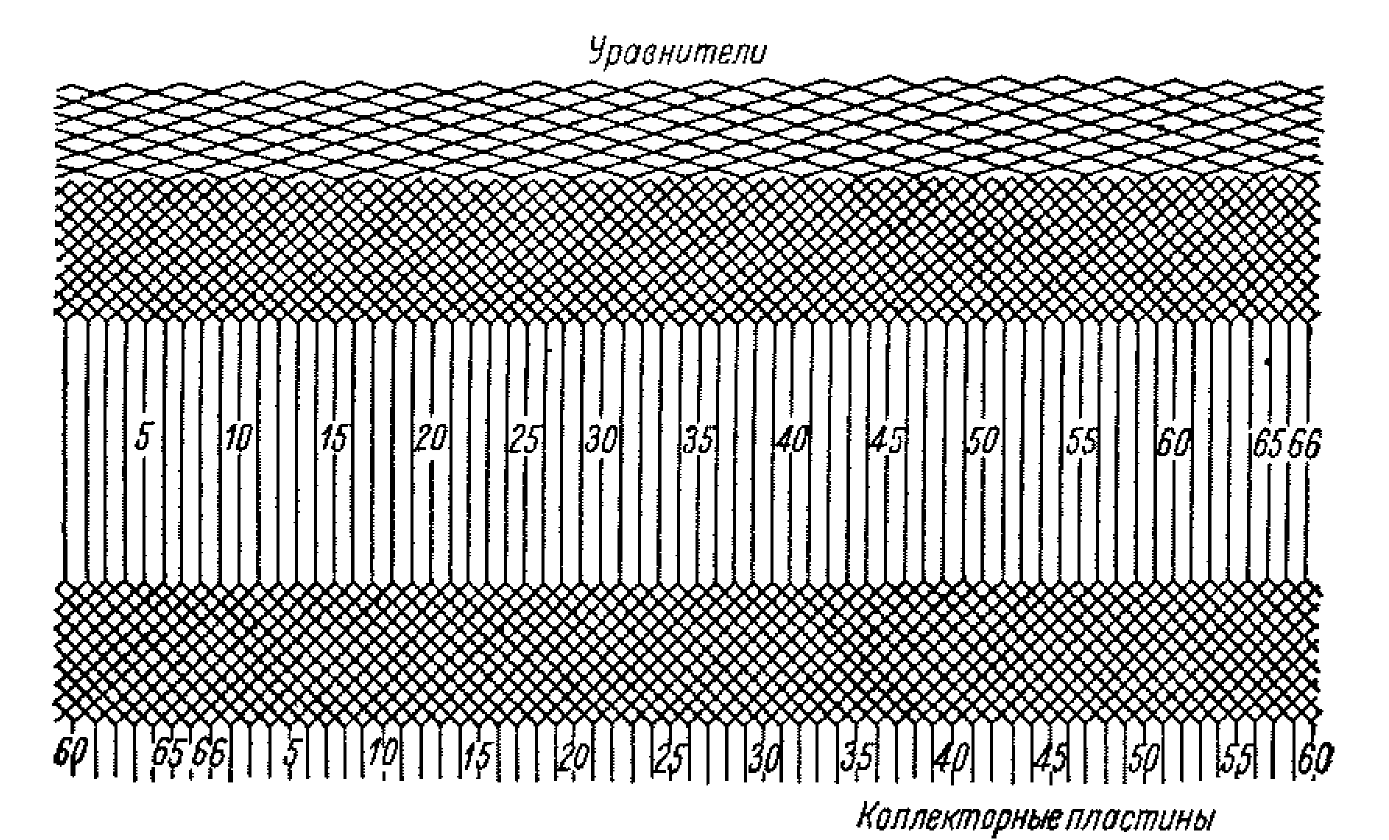


Рис. 11–23. Схема обмотки.

Затем якорь снова поступает к обмотчику, который накладывает поверх бандажа изоляцию. Изоляция состоит из гибкого миканита толщиной по 1,5 мм. и шириной, на 10 мм. превышающей ширину бандажа на уравнителях. Наложенный миканит состоит из двух слоев вперекрой. Сверху миканитовая изоляция скрепляется хлопчатобумажной лентой и заутюживается горячим утюгом. Когда изоляция на уравнителях поверх бандажа готова, хлопчатобумажную ленту снимают и в пазы вставляют изоляцию, состоящую из электрокартона или миканита, как указано на рис. 11–24. После этого приступают к вкладке в пазы полусекций. Дальнейшие операции по вкладке по существу ничем не отличаются от вкладки волновой обмотки, рассмотренной нами выше. Исключение представляет только соединение между собой верхних и нижних полусекций. Соединение полусекций со стороны коллектора производится петушками, а с передней стороны – при помощи хомутиков (рис. 11–25). Хомутики рис. 11–25, *в* и *г* ставятся там, где к секциям–стержням присоединяются уравнители, а хомутики рис. 11–25, *а* и *б* для соединения полусекций в тех местах обмотки, где уравнителей нет. Как видно из схемы рис. 11–23, первый хомутик следует надеть на два отмеченных конца верхней и нижней полусекций, т. е. на нижний конец полусекции, лежащей в 17–м пазу, и на верхний конец полусекции, лежащей в 1–м пазу. В этот хомутик должны также войти два конца уравнительных соединений, отмеченных ранее. Хомутики типа рис. 11–25, *в*, как видно из схемы, ставятся через каждые два обыкновенных хомутика типа рис. 11–25, *б*. Вставленные в хомутики концы полусекций обжимаются плоскогубцами вместе с хомутиками. После установки хомутиков лобовая часть рихтуется, оправляется, ставятся дистанционные прокладки. Обмотка в лобовой части со стороны уравнителей плотно поджимается временными бандажами.

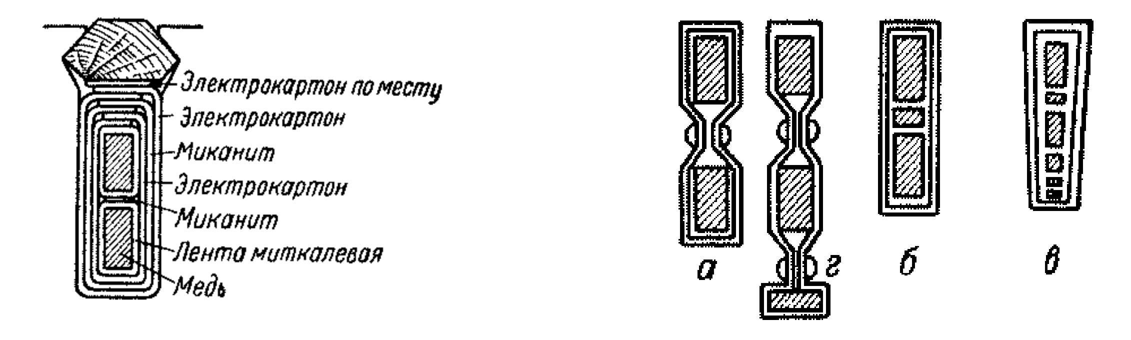


Рис. 11–24. Разрез паза с обмоткой. Рис. 11–25. Хомутики для соединения обмоток.

Затем в хомутики забивают медные луженые клинья и с помощью рейсмуса проверяют положение хомутиков, т. е. их расстояние от стали, а тем самым вылет лобовой части. Забив все клинья в хомутики с предварительной обрезкой концов, между хомутиками забивают деревянные конусные клинья, затем производят окончательную оправку и выравнивание по рейсмусу лобовых частей. После окончательной рихтовки обмотка якоря проверяется на корпус (см. ниже) и поступает на запайку хомутиков и петушков.

в. Укладка полусекций с уравнителями в виде колец.

Для примера рассмотрим укладку волновой обмотки, схема которой дана на рис. 11–26. Обмотка состоит из полушаблонов, включающих каждый две полусекции, изолированные в пазовой части, как указано на рис. 11–27, а в лобовой части – одной хлопчатобумажной лентой. Шаг по стали равен 16, а по коллектору – 66. Обмотка имеет уравнительные кольца. Разметку зубцового и коллекторного шагов делают, как было указано выше. После разметки приступают к укладке уравнительных соединений. Обмотка рассматриваемого якоря имеет 12 уравнительных кабелей. Кабель для этой цели обычно берется марки ПРГ (провод резиновый гибкий).

Один конец кабеля соединяют на стороне коллектора с коллекторным петушком (так называемой точкой Д), а второй конец – с уравнительным кольцом, находящимся на стороне, противоположной коллектору. Кабели проходят от коллектора на противоположную сторону по четырем стальным трубкам, расположенным внутри втулки якоря. Через каждую трубку идет по три уравнительных кабеля, на концах которых привешиваются ярлыки с обозначением номера уравнительного кабеля и номера соединяемых секций. Уложив в пазы коробочки из пропитанного заранее электрокартона толщиной 0,20 мм. приступают к вкладке в пазы полусекций, состоящих из двух стержней, изолированных в пазовой части микафолием. Укладка начинается, согласно схеме (рис. 11–26) с 17–го паза и производится так же, как было указано выше. После укладки обмотки на задней стороне производится соединение полусекций в секции соединительными хомутиками. Задний конец 1–й верхней полусекции соединяется с концом 34–й нижней полусекции. Правильность этого соединения должна быть тщательно проверена. На оба конца надевается хомутик (рис. 11–25, *г*), имеющий внизу отверстие для вывода от уравнительного кольца. Соединение остальных полусекций производится нормальными хомутиками (рис. 11–25, *а*). Соединив все полусекции хомутиками, рихтуют лобовые части и устанавливают дистанционные прокладки. Все хомутики обжимают плоскогубцами, после чего между хомутиками ставят деревянные конусные клинья и концы обмотки рихтуют по рейсмусу.

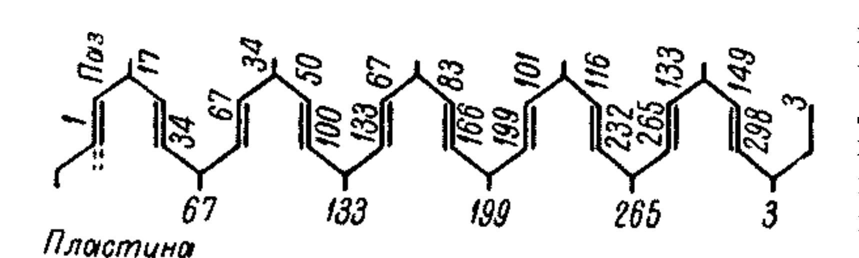


Рис. 11–26. Схема обмотки.



Рис. 11–27. Разрез паза с обмоткой.

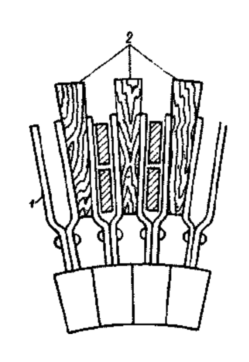


Рис. 11–28. Место установки деревянных клиньев.

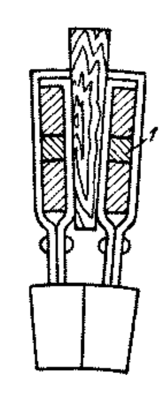


Рис. 11–29. Вид закрытого петушка.

На рис. 11–28 показаны поставленные между ушками 1 петушков деревянные клинья 2. В ушки между концами верхней и нижней секций забиваются луженые медные клинья. После забивки медных клиньев деревянные клинья забивают более плотно и приступают к загибу концов ушек с помощью тупого бородка и ручника. На рис. 11–29 изображен закрытый петушок. Здесь же виден медный клин 2, забитый между концами нижнего и верхнего стержней. Во время закрытия ушек деревянные клинья между ними могут ослабнуть, поэтому их следует подколачивать до плотного оседания. После загиба всех ушек коллекторных пластин и их рихтовки на задней стороне устанавливают заранее заготовленные уравнительные кольца, которые вставляют в определенные места на обмоткодержателе задней стороны, и производят соединение выводов колец с кабелями и хомутиками, указанными выше, согласно схеме уравнительных колец. После этого якорь поступает на испытание обмотки на корпус и далее на запайку и бандажировку.

г. Укладка стержневых полусекций в пазы до посадки коллектора на вал.

В данном случае коллектор насаживается после укладки обмотки, что способствует их лучшему соединению. При этом обмотка соединяется с коллектором при помощи хомутиков с хвостиками (рис. 11–30). Процесс укладки стержней такой же, как был описан ранее. После укладки обмотки и запайки хомутиков с задней стороны производят посадку коллектора на вал якоря, затем в шлицы последнего вставляются хвостики от хомутиков. При вкладке в шлиц хвостик хомутика выправляется плоскогубцами и посредством тупой стальной лопатки забивается на дно шлица. Каждый хвостик должен утопать в шлице на 1–2 мм. После забивки хвостиков в шлицы все хомутики выправляются, и якорь поступает на запайку концов хвостиков и на бандажировку.

11–5. Укладка роторных обмоток асинхронных двигателей.

В качестве примера рассмотрим укладку обмотки 12–полюсного ротора с 144 пазами. На полюс и фазу, таким образом, приходится 4 паза. Схема обмотки представлена на рис. 11–31 (обмотка с удлиненным переходом). После наложения изоляции на обмоткодержатель в пазы ротора вкладывают заранее приготовленные проходные коробочки из электрокартона. Роторы всегда имеют полузакрытые пазы. Толщина коробочек бывает от 0,20 до 0,30 мм; по длине они на 10–15 мм. больше длины стали ротора, т. е. равны пазовой изоляции стержня. На сталь ротора ближе к стороне контактных колец накладывается электрокартонная лента и закрепляется шпагатом. Согласно приложению I, против каждого паза наносят черточки и помечают номера пазов. Вкладка начинается с переходных стержней (поперечек), назначение которых было объяснено выше. В рассматриваемом роторе нормальный шаг равен 12, а ненормальный 13. Удлиненных роторных стержней должно быть 18, по 6 на каждую фазу. Поперечки располагают по окружности симметрично, угол между ними 120°. Они вставляются в пазы ротора со стороны контактных колец. Первую поперечку ставят, согласно рис. 11–31, одним концом в 4–й паз, а вторым – в 136–й. Вторую поперечку ставят одним концом в 32–й паз и вторым концом в 44–й, а третью поперечку одним концом в 96–й паз и вторым в 108–й. Вложенные поперечки на стороне контактных колец изолируются гибким миканитом, чтобы при наложении второго слоя стержней не повредить их изоляции. Когда вложены все стержни нижнего ряда на стороне контактных колец, на лобовые части стержней ставятся временные бандажи из мягкой стальной проволоки – один по концам и второй по серединам стержней, чтобы прижать их к обмоткодержателю.

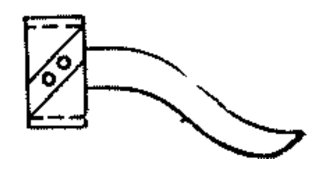


Рис. 11–30. Хомутик для присоединения.

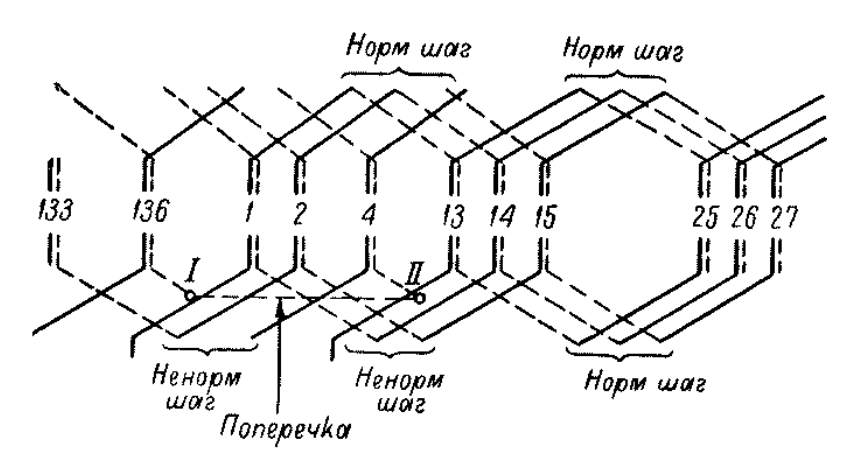


Рис. 11–31. Схема обмотки ротора.

После этого приступают к изгибу лобовых частей стержней на стороне привода, которые до сего времени оставались прямыми. Загиб стержней производится при помощи двух ключей. Ключ рис. 11–32, *а* берется в левую руку и своим зевом надевается на прямую часть стержня, выходящую из паза, и в таком положении стержень удерживается. Ключ рис. 11–32, *б* (в правой руке) также надевается на стержень и своим зевом подходит вплотную к губам ключа рис. 11–32, *а*. Ключом рис. 11–32, *б* делается изгиб стержня на угол 120°. Таким путем изгибают все нижние стержни, среди которых и шесть концов поперечек. Затем на эти стержни ставят два временных бандажа из стальной мягкой проволоки. Легкими ударами деревянного ручника по концам стержней их осаживают и одновременно стягивают проволокой бандажа с помощью плоскогубцев.

Затем приступают к отгибу концов, предназначенных для надевания хомутиков, что выполняется теми же ключами. После отгиба концов на обеих лобовых частях нижнего ряда снимаются временные бандажи. На лобовые части обеих сторон укладывается межслойная изоляция из электрокартона и киперной ленты. Толщина изоляции от 2 до 5 мм. смотря по высоте, какую можно допустить, чтобы общая высота вместе с верхними стержнями и наложенным поверх них бандажом не получилась выше стали ротора. Установив на обеих сторонах межслойную изоляцию, приступают к вкладке верхних стержней. Предварительно в пазы ротора, поверх нижнего стержня, прокладывают электрокартонную полоску, пропитанную в масле или лаке, толщиной от 0,20 до 1 мм. шириной, равной ширине изолированного стержня, и длиной, равной длине прямой части стержня. Вкладка верхних стержней производится так же, как и нижних. Так же выдерживается правильность положения прямой части, причем вкладку верхних стержней производят со стороны привода. Когда все верхние стержни вложены в пазы ротора, на стороне привода ставятся временные бандажи, и все концы стержней на этой стороне временно соединяются тонкой луженой медной проволокой для производства первого испытания на корпус. Если изоляция стержней выдержит испытание, тогда на стороне контактных колец загибают концы стержней. На загнутые лобовые части верхних стержней также ставятся два временных бандажа, которыми верхние стороны лобовых частей плотно прижимаются к изоляции, лежащей между верхними и нижними стержнями. После этого приступают к соединению обмотки ротора на стороне привода, т. е. соединяют концы верхних и нижних стержней друг с другом посредством соединительных хомутиков. Соединение производят согласно схеме рис. 11–31. Конец верхнего стержня, лежащий в первом пазу, соединяется с концом нижнего стержня, лежащим в 13–м пазу; далее конец второго верхнего стержня соединяется с концом 14–го стержня, лежащего внизу 14–го паза, и т. д. Следовательно, на стороне привода шаг равен 12. Таким путем производят все соединения на стороне привода. На этой стороне шаг нормальный. Затем приступают к соединению стержней на стороне контактных колец, что выполняется также согласно схеме рис. 11–31 и приложению I. На этой стороне ротора имеются соединения нормальные, с шагом 12, и ненормальные, с шагом 13. Для примера рассмотрим соединение фазы 2, где имеются две группы соединений с ненормальным шагом. В первой группе соединений конец первого верхнего стержня, лежащий в 1–м пазу и обозначенный в схеме буквой А, является выводным. Конец верхнего стержня, лежащий во 2–м пазу, идет на соединение с нижним концом стержня, лежащим в 133–м пазу. Конец третьего стержня, лежащий в 3–м пазу, идет на соединение с концом нижнего стержня, лежащим в 134–м пазу. Конец четвертого стержня, лежащий, в 4–м пазу, идет на соединение с концом нижнего стержня, лежащим в 135–м пазу.

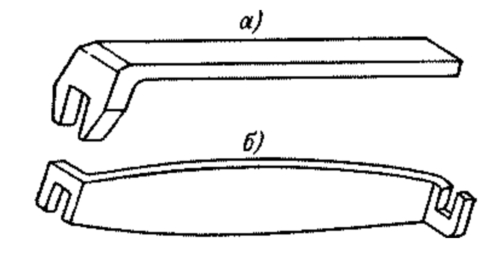


Рис. 11–32. Ключи для загиба роторных стержней.

Следующая группа ненормальных соединений этой же фазы идет через 8 пазов и начинается в 13–м пазу. Так же, как и конец первого стержня, конец тринадцатого стержня оставляем пока не присоединенным. Он на схеме обозначен буквой X, Далее 14–й стержень соединяется с концом первого нижнего стержня, 15–й верхний стержень – с концом второго нижнего стержня, а 16–й верхний стержень – с концом третьего нижнего стержня. Для выполнения ненормальных соединений должны быть изготовлены в данном случае на каждую фазу по шести удлиненных стержней. Все остальные соединения первой фазы будут иметь нормальный шаг, равный 12. Соединив все остальные стержни первой фазы, нетрудно выполнить соединение остальных двух фаз. Когда поставлены все хомутики на стержни на стороне контактных колец, приступают к рихтовке лобовых частей, причем выдерживается расстояние от стали ротора до наружного края хомутика. Затем в лобовой части обеих сторон между стержнями ротора устанавливаются дистанционные прокладки из пропитанного электрокартона. Стержни выравнивают и рихтуют с помощью ручника и стальной лопатки, подбивая один стержень к другому. После этого лобовые части на обеих сторонах с помощью фибрового клина и обыкновенного ручника легкими ударами плотнее прижимают к обмоткодержателю, подтягивая при этом временные бандажи плоскогубцами (скручиванием проволоки). Когда обмотка окончательно осажена, в определенные по чертежу хомутики вбивают вентиляционные пластины, служащие лопастями вентилятора для охлаждения обмотки. Пластинки устанавливают с обеих сторон ротора, после чего в хомутики забивают медные луженые клинья для заполнения промежутка между стержнями, что облегчает их запайку. Медные клинья должны плотно сидеть в хомутике. Забив все клинья в хомутики на обеих сторонах, приступают к выполнению соединения обмотки ротора. После укладки и соединения всех стержней между собой остались несоединенными 6 концов, по 2 конца от каждой фазы: A и X – начало и конец первой фазы, B и Y – начало и конец второй фазы, C и Z – начало и конец третьей фазы. В случае соединения фаз звездой на концы X, Y и Z надевают звезду (нулевую шину). Начала A, B и C пойдут на соединения с тремя контактными кольцами. Ротор испытывается на корпус и на правильность соединения и затем поступает на запайку концов обмотки в хомутиках. Нами описан ротор, обмотка которого имела удлиненный ненормальный шаг с удлиненными стержнями. Иногда ненормальные шаги обмотки ротора выполняются не удлиненными, а укороченными.

11–6. Укладка обмотки роторов на 3000 об. мин.

Роторы на 3000 об. мин. (двухполюсные) создают больше затруднений при укладке обмотки, чем роторы с большим числом полюсов. Вследствие значительной окружной скорости стержни ротора подвергаются действию повышенных усилий, что заставляет усилить бандажи на обмотке. Перед укладкой обмотки изолируют обмоткодержатели.

а. Изолировка обмоткодержателей.

Обмоткодержатель ротора на 3000 об. мин. на стороне контактных колец (сторона К) имеет выемку–уступ (рис. 11–33), на стороне привода (сторона П) – гладкий. Изолировку обмоткодержателя со стороны П производят следующим образом: по всей окружности обмоткодержатель промазывают лаком, поверх которого накладывают полоски гибкого миканита толщиной 0,7 мм. в 2 слоя, причем концы каждого слоя укладывают впритык; места стыков смежных слоев по отношению друг к другу смещают на полуокружность. Слои изоляции накладываются в определенном порядке. Вначале накладывают один слой гибкого миканита и проглаживают его горячим утюгом, затем накладывают второй слой и также проглаживают горячим утюгом. Поверх слоев миканита накладывают слой изоляции из полос электрокартона, промазанных лаком, толщиной от 0,8 до 1 мм.

Полосы электрокартона закрепляют на обмоткодержателе киперной лентой, которую также промазывают лаком и проглаживают горячим утюгом для склеивания электрокартона с лентой. У обмоткодержателя на стороне контактных колец, прежде всего гибким миканитом толщиной в 1 мм. изолируется выемка. Вначале миканит накладывают на боковые части выемки, где он, смазанный лаком, проглаживается горячим утюгом или стальной каленой лопаткой. Затем прокладывают полоску миканита толщиной 1 мм. на дно выемки, промазанной также лаком; полоску тоже проглаживают, приклеивая ее к дну выемки. После изолировки выемки на остальной части обмоткодержателя (по бокам выемки) накладывают таким же образом и такую же изоляцию, как и на стороне К, не закрывая выемки.

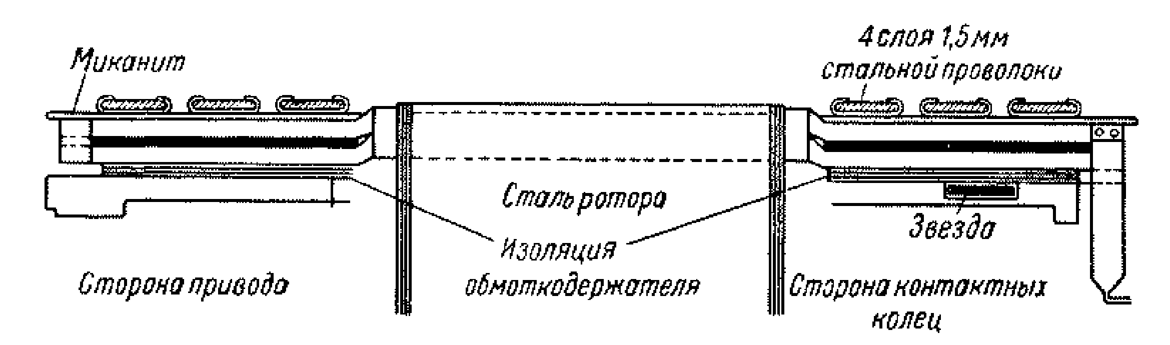


Рис. 11–33. Обмоткодержатель ротора на 3000 об. мин.

б. Вкладка стержней в пазы.

В качестве примера рассмотрим укладку обмотки трехфазного ротора с 72 пазами. Обмотка – двухслойная, петлевая. Напряжение на кольцах ротора 750В. Обмотка имеет 12 пазов на полюс и фазу. Схема обмотки представлена на рис 11–34. Каждая фаза имеет две параллельные ветви, фазы соединены звездой. Начала двух параллельных ветвей первой фазы – II и A – соединены вместе, точно так же соединены вместе соответственно и начала второй и третьей фаз, а именно: IV с B и VI с C. Концы всех фаз соединяются нулевой шиной в звезду.

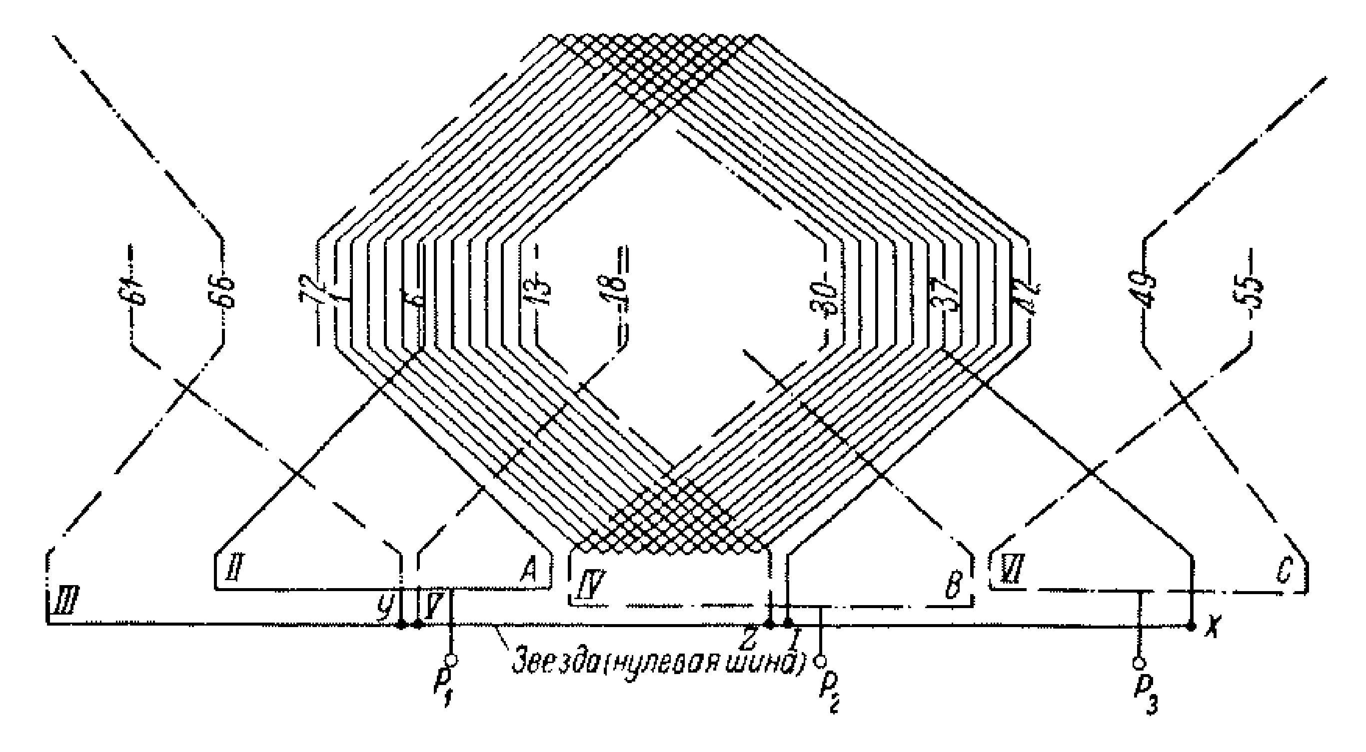


Рис. 11–34. Схема обмотки ротора на 3000 об. мин.

Начала двух параллельных ветвей первой фазы – II и А – соединены вместе, точно так же соединены вместе соответственно и начала второй и третьей фаз, а именно: IV с В и VI с С. Концы всех фаз соединяются нулевой шиной в звезду. После того как обмоткодержатель полностью изолирован, в пазы ротора 18, 42, 66, согласно рис. 11–34, со стороны П вкладывают электрокартонную коробочку толщиной 0,2 мм. и в каждую из пазов вкладывают по одному стержню. На стороне К производят загиб концов этих трех стержней, представляющих собой концы трех фаз, которые будут соединены в звезду. Нулевую шину изготовляют из плоской медной полосы заданного сечения и вкладывают ее в изолированную выемку обмоткодержателя, а концы ее запаивают встык серебряным припоем. С тех вставленных стержней в лобовой части снимается часть изоляции и производится разметка на нулевой шине мест присоединения этих стержней, затем они припаиваются к шине серебром (рис. 11–35).

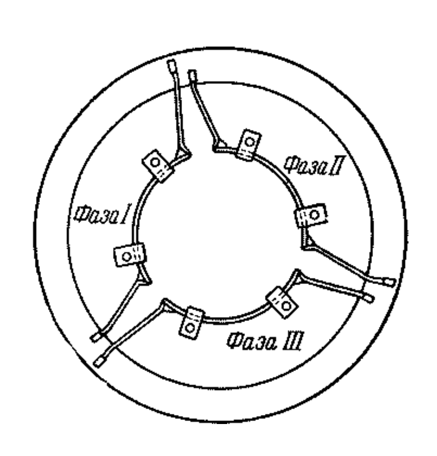


Рис. 11–36. Перемычки роторной обмотки.

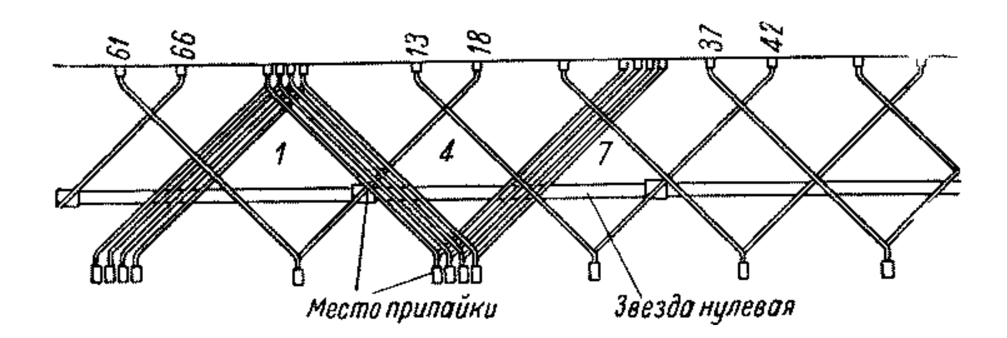


Рис. 11–35. Схема припайки концов к нулевой шине.

При запайке нужно следить, чтобы вылеты лобовых частей были выдержаны. Для предохранения изоляции обмоткодержателя от влияния пламени газа место пайки закрывается асбестовым полотном. После припайки следует стержни усиленно изолировать лакотканью и лентой. Нулевая шина после припайки стержней также изолируется лакотканью один раз вполнахлеста и укладывается в выемку, после чего туда же вместе с нулевой шиной вкладываются полосы миканита и электрокартона, предварительно промазанные лаком, и все это проглаживается горячим утюгом. После изготовления звезды во все пазы ротора вставляют электрокартонные коробочки и вкладывают стержни нижнего ряда, на которые по лобовым частям со стороны П ставят три временных бандажа из мягкой стальной проволоки: один по концам стержней, второй посредине и третий, отступая на 10–15 мм. от пазовой части стержней. На стороне К у лобовой части стержни изгибают у выхода из паза; это делается так же, как описано в предыдущем параграфе. Так как обмотка ротора петлевая, то изгиб ведется не от себя, как при волновой обмотке, а на себя. После изгиба стержней на лобовой части стороны К ставятся три проволочных временных бандажа. Обмотка осаживается деревянным ручником, причем одновременно подтягивается бандажом к обмоткодержателю, что производится в несколько приемов и с осторожностью. После окончательной осадки лобовой части на стороне К загибают концы стержней и с обеих сторон ротора ставят между стержнями дистанционные прокладки из электрокартона. При этом лобовые части рихтуют, следя за тем, чтобы вылет обмотки был выдержан по чертежу. Затем на каждой стороне ротора снимают часть бандажей, оставляя лишь по одному бандажу по концам стержней, и накладывают на лобовые части нижних стержней изоляцию.

Для этого нижние стержни слегка промазывают лаком и на них накладывают две полоски электрокартона толщиной по 0,07 мм. и поверх них две полоски гибкого листового миканита той же толщины. Стыки полос миканита сдвинуты на полуокружность, при этом стыки сделаны под углом в 45°. Миканит и электрокартон закрепляются несколькими оборотами тафтяной ленты, причем последние обороты промазываются лаком. Далее вкладывают верхние стержни, которые вставляются в пазы со стороны П. Так же, как и при вкладке нижних стержней, здесь следят за правильным расположением стержней в пазах и производят загиб их на стороне К у выхода из паза, при этом загиб также ведут на себя. После изгиба ставятся три временных проволочных бандажа в тех же местах, что и при вкладке нижних стержней. Затем обмотка ротора подвергается предварительному испытанию на корпус для того, чтобы быть уверенным в том, что никаких повреждений изоляция стержней не имеет. Если испытание выдержано, то ведут дальнейшую работу. На стороне П после изгиба стержней также ставят три временных бандажа, после чего ведут изгиб концов стержней. Бандаж с концов нижнего ряда обмотки снимают и производят соединения стержней верхнего и нижнего рядов. На концы нижних и верхних стержней, подлежащих соединению согласно схеме (см. рис. 11–34 и 11–35), надевают хомутики. Установив все хомутики на обеих лобовых частях, производят рихтовку их и установку дистанционных прокладок между верхними стержнями. Обмотку в лобовых частях осаживают и плотно поджимают временными бандажами к нижним стержням. В хомутики вставляют медные клинья для заполнения промежутков между концами стержней. При этом временные бандажи снимаются. На стержни со стороны К, идущие к выходам, хомутики не надеваются. Ранее нами указывалось, что нижние стержни, находящиеся в пазах 18, 42 и 66, идут в нулевую шину (рис. 11–35). Верхние концы стержней, лежащие в пазах 13, 37 и 61, тоже идут в нулевую шину. На эти шесть стержней (I, III, V и X, Y, Z) попарно надевают три хомутика, этим самым все шесть стержней оказываются присоединенными к нулевой шине (см. рис. 11–34). К контактным кольцам идут шесть концов от двух параллельных групп. Эти концы соединены перемычками попарно: II с A, IV с B и VI с C. Каждая пара стержней в дальнейшем присоединяется к контактному кольцу. Вид перемычек показан на рис. 11–36. Установив перемычки, ротор отправляют на запайку хомутиков. После запайки выходные концы стержней II, IV, VI, A, B и C усиленно изолируются. С обеих сторон ротора между хомутиками ставятся гетинаксовые клинья, вид которых показан с торца на рис. 11–37. Эти клинья отделяют хомутики друг от друга. После этого ротор передается для наложения постоянных бандажей (бандажи выполняются из антимагнитной проволоки – рис. 11–38), испытывается на корпус и витковое и поступает в печь для просушки и пропитки.

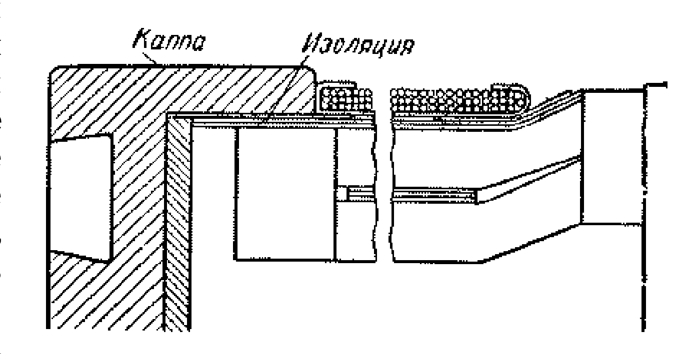
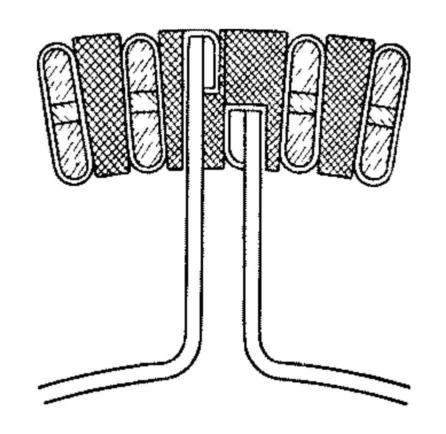


Рис. 11–38. Бандажи на лобовых частях.


Рис. 11–37. Установка гетинаксовых клиньев.

в. Изолировка капп и их надевание.

Кроме проволочных бандажей на лобовых частях, на концы стержней роторов машин средней и большой мощности надеваются металлические каппы.

Для посадки капп после просушки и пропитки обмотки ротору дают остыть, затем с обеих сторон его на лобовые части в местах, указанных на рис. 11–38, производят наложение изоляции под каппы. Изоляция выполняется из миканита толщиной 0,5 мм. Из него нарезают требуемое количество пластин соответствующей ширины, имеющих длину, равную приблизительно 100 мм. с припуском + 10 мм. Миканитовые пластины разогревают и в горячем состоянии укладывают на место. Пластины укладываются чешуйчато–образно, т. е. одна пластина частью перекрывает другую. Для удержания пластин в таком положении по всей окружности на них надевается стальной хомут из ленточной стали с концами, стягиваемыми болтами. Над хомутом по всей его поверхности устанавливается газовая горелка (трубка с отверстиями, обращенными к хомуту), с помощью которой ведут подогрев. В процессе подогрева хомут все время стягивают болтами. Таким образом, миканит выпекается, т. е. удаляется влага из лака, и одновременно спрессовывается чешуйчатая изоляция под каппу. После того как выпечка миканита будет окончена и хомутам дадут остыть, их снимают с обеих сторон, затем миканитовая изоляция обтачивается до надлежащего размера. После проточки изоляции надевают каппы. Перед надеванием последние подогреваются, от этого они увеличиваются в диаметре и легко садятся на место. Охлаждаясь, каппы прочно охватывают лобовую часть. Затем на вал ротора надевают контактные кольца, к которым присоединяются выводные концы фаз ротора.

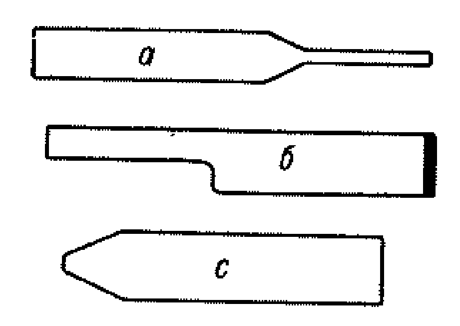


Рис. 11–39. Наконечники газового паяльника.

11–7. Пайка обмоток якорей и роторов.

Пайка соединений концов обмотки якорей и роторов является весьма важной и ответственной операцией. Она должна быть выполнена чисто и тщательно, т. е. поверхности мест соприкосновения должны быть пролужены и совершенно чисты. Только при соблюдении указанных условий можно получить удовлетворительную пайку. Плохая пайка вызывает увеличение сопротивления в плохо припаянном месте и нагрев его. В некоторых случаях нагрев может быть столь сильным, что припой расплавится и вызовет разрыв в цепи обмотки во время работы машины. В настоящее время для якорных обмоток на ряде заводов внедрена пайка твердым припоем (медно–фосфористым или серебряным) при помощи специального подвесного сварочного аппарата. Концы обмоток при этом тщательно зачищаются и не лудятся.

а. Пайка вручную концов обмотки, входящих в шлицы коллекторных пластин.

Для запайки якорь укладывается на подставках в наклонном положении, причем сторона коллектора должна быть ниже задней стороны якоря. Такое положение якоря при пайке предохраняет от наплывов припоя между коллекторными пластинами, а также от попадания припоя в обмотку. Место пайки очищается от грязи и пыли. Если на коллекторных пластинах видна окись, то она счищается. Предварительно все шлицы с вложенными в них концами обмотки секций промазывают массой, состоящей из раствора канифоли в спирту, или же посыпают толченой мелкой канифолью, и лишь затем приступают к пайке. Пайка большей частью производится посредством газового паяльника со сменными наконечниками, которые имеют различные формы, показанные на рис. 11–39. Для пайки употребляется припой ПОС–40 или ПОС–61. Паяльник нагревается газом, его наконечник залуживается и накладывается на место пайки, которое от него нагревается. На запаиваемое место подается припой и для лучшего очищения от окиси – канифоль (порошком или массой).

Место пайки должно быть хорошо прогрето, чтобы припой равномерно протекал во все щели между концами секций обмотки и стенками шлица. При запайке якоря ни в коем случае не должна применяться кислота. В якорях мелких машин запайка концов обмотки в шлицы производится посредством электрического паяльника. Для безопасности работы с паяльником пользуются низким напряжением – порядка 12 *в*. Якорь устанавливается также в наклонном положении. Во всем остальном пайка должна выполняться, как указано выше.

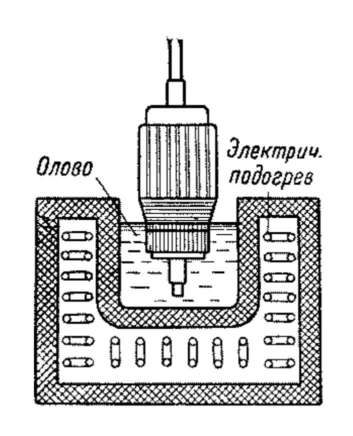


Рис. 11–41. Пайка концов обмотки якоря.

б. Пайка вручную концов обмотки в петушках и хомутиках.

При пайке концов обмоток в петушках и хомутиках якорь или ротор может быть уложен на подставках без наклона, как это было необходимо при пайке концов в шлицах коллекторных пластин. Здесь запайка может производиться сбоку. Наконечник паяльника, имеющий форму *а* или *б* (рис. 11–39), просовывают между петушками или хомутиками (предварительно конец его облуживается припоем) и прогревают место запайки. Во время подогрева место запайки непрерывно посыпают толченой канифолью и одновременно с разных сторон подают в избытке припой, чтобы он, расплавляясь, мог проникнуть всюду. После пайки одного места переставляют наконечник паяльника к следующему, следя при этом за качеством пайки предыдущего места и, по мере надобности, добавляя или снимая припой. Сделать это легко сейчас же после пайки, пока температура запаянного места еще высока. По окончании всех работ, связанных с пайкой, якорь подают на обрезку концов, выступающих за хомутики и ушки, а затем производят общий осмотр, удаляют оставшееся при пайке олово и проверяют качество пайки. Обрезка концов обмотки, как с передней, так и с задней стороны якоря производится на станке посредством циркульной пилы, смонтированной на специальном суппорте вместе с электродвигателем.

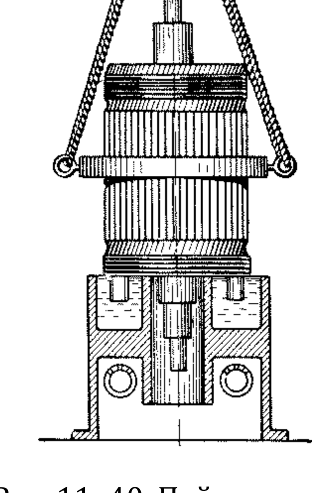


Рис. 11–40. Пайка концов обмотки ротора в ванне.

в. Пайка концов обмотки роторов и якорей в ванне.

Перед пайкой все соединения, т. е. места пайки, промазываются массой, состоящей из раствора канифоли в спирту. После этого на ротор надевается специальный хомут и краном подается к ванне. Пайка производится погружением концов обмотки в ванну. Перед пайкой конец вала со стороны коллектора, торцовая часть и половина коллектора промазываются кистью раствором гипса и после этого якорь поступает в сушильный шкаф для просушки гипса. Просушка необходима для того, чтобы в момент опускания якоря в ванну с припоем не произошел взрыв от соприкосновения влаги с расплавленным оловом. Якорь погружают в ванну с припоем до места наложения веревочного бандажа (см. рис. 11–41). Подержав якорь в ванне очень непродолжительное время, его вынимают и просматривают пропайку. При обнаружении мест плохой пайки их вновь промазывают раствором канифоли и добавляют припой от тонкого прутка (это проделывается при еще горячем коллекторе). После того как якорь остынет, с конца вала и буксы коллектора снимают гипс.

Смазывание раствором гипса конца вала делается для того, чтобы, во–первых, к шлифованной части вала и буксы не пристал припой, во–вторых, для того, чтобы не отпустить или закалить стальной вал. Этот метод пайки дал положительные результаты, как в отношении быстроты, так и в отношении качества. Кроме того, такой способ пайки дает экономию припоя. Для пайки якорей машин постоянного тока можно применять специальные ванны с припоем (рис. 11–42). Подогрев припоя производится горелкой 1; горячие газы омывают ванну и уходят в трубу 2, как показано стрелкой. Предназначенный для пайки якорь устанавливают в приспособление 5, которое связано с рычагом 4, служащим для поднятия и опускания приспособления со вставленным в него якорем. Для запайки обмотки в коллекторе якорь рукояткой 4 опускается до соприкосновения с расплавленным припоем. Для пайки якорей применяют также и ванны с электроподогревом. Такая ванна показана на рис. 11–43. Здесь процесс запайки происходит следующим образом. Якорь вставляется в приспособление 1 поворотом маховичка 2 приводят в действие поршень 3, который выдавливает расплавленный припой 4 по трубе 5 в ванну 6. Во всем остальном процесс запайки аналогичен вышеописанному.

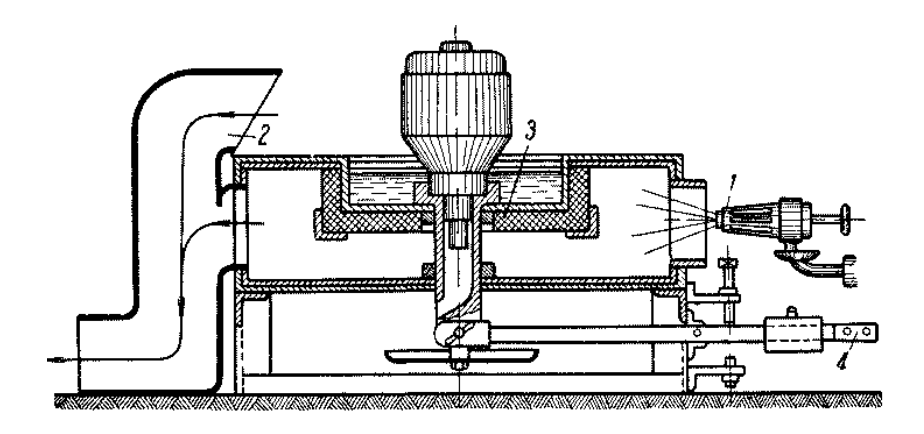


Рис. 11–42. Ванна для пайки якорей.

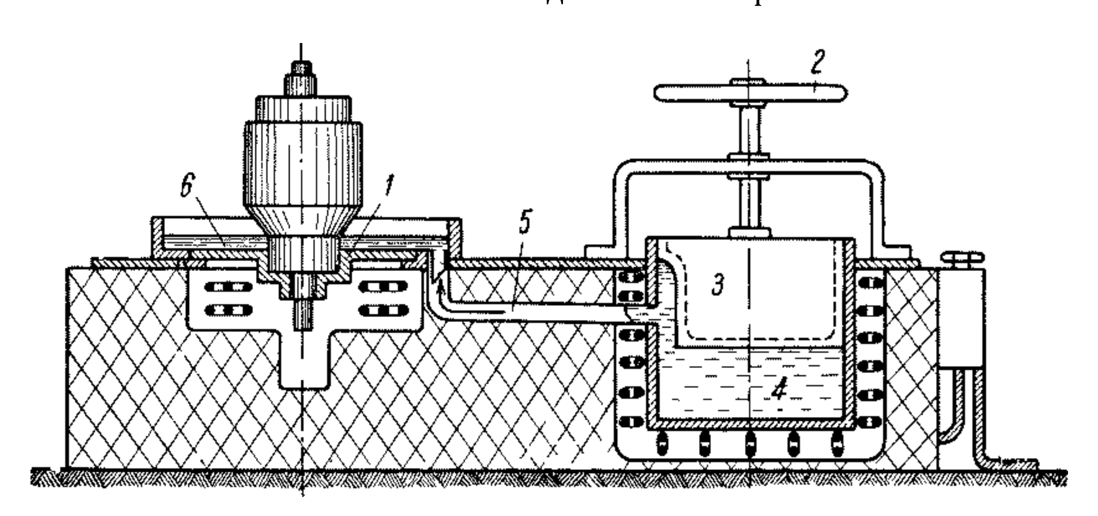


Рис. 11–43. Ванна для пайки якорей с электронагревом.

г. Определение качества пайки.

Качество пайки определяется тремя способами:
1) внешним осмотром места пайки;
2) измерением переходного сопротивления спаиваемых частей;
3) пропусканием тока по обмотке якоря и наблюдением за степенью нагрева места пайки.

Внешний осмотр места пайки.

При хорошей пайке конца стержня 1 ясно наблюдается каемка припоя 2 вокруг каждого конца шлица или хомутика (рис. 11–44). Пустоты в месте пайки могут быть вследствие того, что это место было плохо очищено или пролужено, или был большой зазор между концом стержня и шлицем. В последнем случае надо при пайке закладывать в большие пустоты куски луженой медной проволоки. Во все черновины, замеченные с торца хомутика, или места проточек шлица просовывается тонкая проволока для определения, является ли черновина только наружным дефектом пайки не ухудшающим ее качества, или это отверстие проходящее сквозь хомутик или шлиц. Если это нельзя наблюдать непосредственно, то пользуются зеркальцем, которое вставляют между коллектором и сталью якоря, и с его помощью рассматривают места пайки. Иногда для проверки качества пайки разрубают одно или два сомнительных места пайки и тщательно их осматривают.

Измерение переходного сопротивления.

Опишем метод проверки пайки измерением переходного сопротивления. Схема его приведена на рис. 11–45, где изображена аккумуляторная батарея 5 напряжением до 12 *в*, амперметр 1 с шунтом для измерения тока от 0,01 до 10*А*; милливольтметр 3 с добавочным сопротивлением 4, дающим возможность измерять напряжение до 0,003 *в*; щупы особой конструкции 6 (рис. 11–46), дающие возможность получить разрыв тока внутри щупа, а не на его концах, чем предотвращается порча мест соприкосновения щупа с коллекторными пластинами. Вся схема с приборами смонтирована на деревянном столике, который можно переносить к тому месту, где находится якорь. Определение качества пайки посредством рассмотренной схемы происходит следующим образом: включают рубильник 7, а щупы 6 накладывают концами на две рядом лежащие коллекторные пластины и нажимают на них, замыкая тем самым цепь тока, при этом включают милливольтметр 3. Ток с помощью реостата 2 подбирается такой, чтобы отклонения стрелки милливольтметра легко наблюдались и при измерении между любыми пластинами ток был одинаков. Показания милливольтметра для каждой пары соседних пластин записывают, и полученные числовые значения сравнивают друг с другом. При хорошей пайке все показания милливольтметра будут одинаковы. Если имеется для какой–либо пары пластин резкое отличие в сторону увеличения показаний, значит в этих местах пайка выполнена неудовлетворительно.

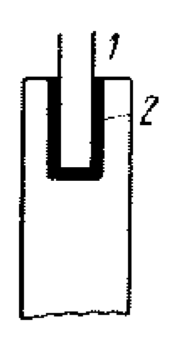


Рис 11–44. Правильная запайка концов в шлице.

Нагрев места пайки током.

Третий метод для определения качества пайки состоит в следующем: на коллекторе на расстоянии коллекторного шага устанавливают с помощью особых приспособлений угольные или металлические щетки с кабельными отводами, через которые ток подается в коллектор, а следовательно, и в обмотку якоря. Ток, измеряемый амперметром, должен быть равен нормальному рабочему току якоря машины. Через 10–15 мин. после подачи тока все места пайки ощупываются рукой для определения нагрева. Если пайка выполнена хорошо и везде одинаково, то места пайки должны иметь одинаковый нагрев. Места неудовлетворительной пайки нагреваются сильнее. При дальнейшем пропускании тока места плохой распайки распаиваются и припой вытекает.

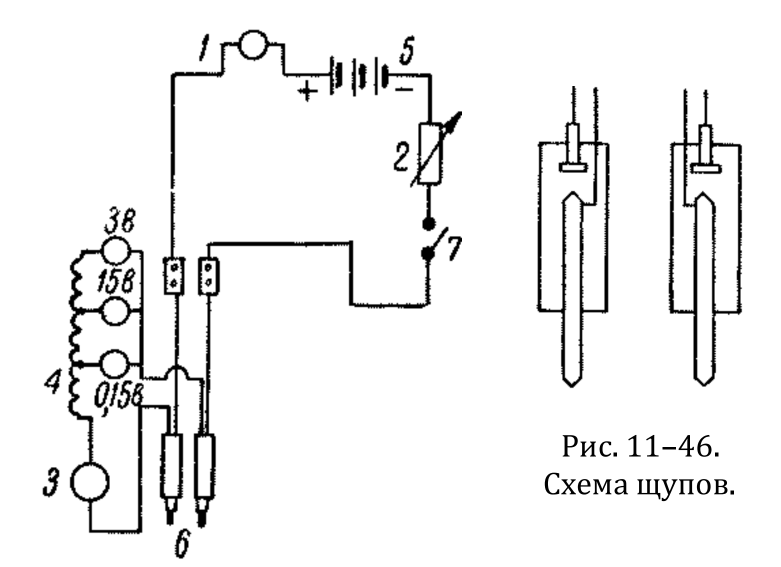


Рис. 11–45. Схема испытания качества пайки.

Рис. 11–46. Схема щупов.

Глава двенадцатая укладка катушек статорной обмотки.

12–1. Общие замечания.

В этой главе рассматривается укладка катушек однослойной и двухслойной обмотки в пазы статора, а также выполнение обмотки статора способом протяжки. Перед укладкой катушек в пазы необходимо тщательно проверить отсутствие в них выступающих отдельных листов стали, заусенцев, загрязнения. Выступающие отдельные листы должны быть аккуратно спилены, заусенцы сняты, пазы очищены щеткой или сжатым воздухом. Очень гладкую запиловку и зашлифовку пазов производить не следует. Иначе благодаря металлическому соединению отдельных листов при работе машины может образоваться недопустимый нагрев стали статора (вследствие вихревых токов), а следовательно, и проводников обмотки. Далее, пазы покрываются лаком с помощью кисти или пульверизатора.

12–2. Укладка катушек однослойной обмотки крупных машин.

В качестве примера рассмотрена вкладка шаблонной обмотки тридцатишестиполюсной машины, схема которой дана на рис. 12–1 (о применяемой изоляции см. гл. 5). В подготовленные, как указано выше, пазы вставляются проходные коробки. Материалом для проходных коробок обычно служит электрокартон толщиной 0,1–0,3 мм. Длина проходной коробки должна быть равна длине пазовой изоляции катушки. Края коробки должны возвышаться над пазом на 25–30 мм. Первыми укладываются нижние (отложные) катушки, причем сначала следует вложить самую большую катушку для возможности укладки остальных катушек. Укладку выполняют двое рабочих. Сперва одну из сторон вкладываемой катушки опускают на $^1/_4$ высоты паза. При этом вторая сторона катушки находится навесу над тем пазом, в который она должна быть уложена. Чтобы ее направить в паз, один из рабочих при помощи деревянных вилок (рис. 12–2), охватывающих пазовую часть катушки у концов опрессовки, делает легкий поворот и направляет сторону катушки в паз. Второй рабочий в это время накладывает деревянный или фибровый клин по верху гильзы и наносит по нему легкие удары ручником, передвигая клин вдоль пазовой части и осаживая стороны катушки также на $^1/_4$ высоты паза. После этого одновременно и равномерно при помощи клина и ручника рабочие осаживают обе стороны катушки на дно паза. Длина клина должна быть равна пазовой части катушки, а ширина его равна ширине опрессовки. Таким способом укладываются все катушки в соответствующие пазы статора.

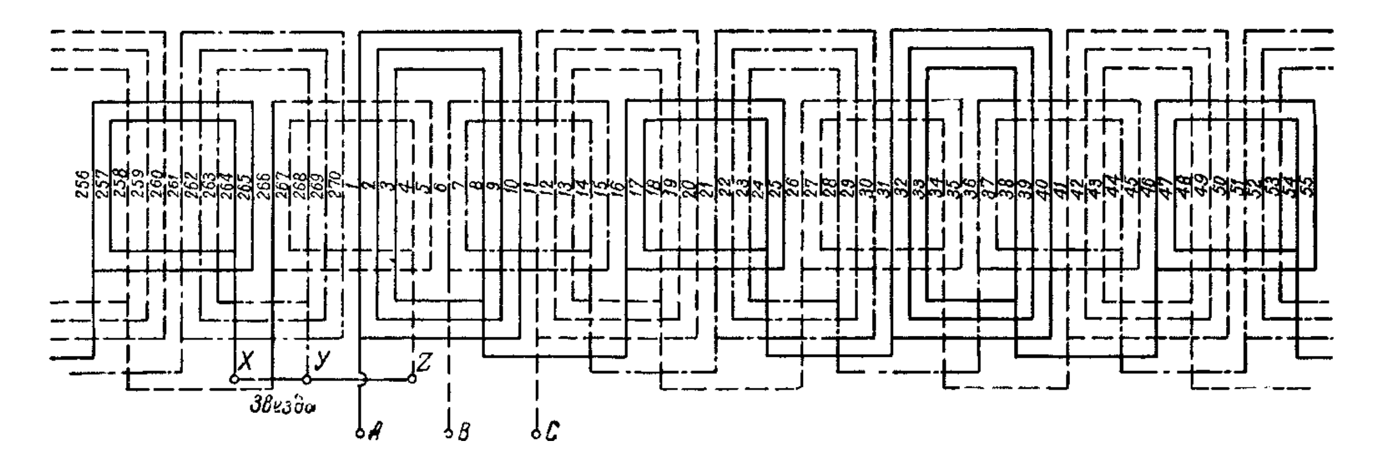


Рис. 12–1. Схема обмотки.

Катушки должны лежать в пазах симметрично, т. е. вылеты лобовых сторон должны быть одинаковы как с одной, так и с другой стороны статора. После укладки всех отложных катушек проходные коробки обрезают по высоте с таким расчетом, чтобы оставшиеся стороны могли перекрыть одна другую. Остальные концы коробки загибают внутрь паза один на другой и ударами молотка по клину прижимают к гильзе. Затем приступают к забиванию клиньев в пазы. Клинья должны плотно сидеть в ласточкином хвосте паза, плотно прилегать своей нижней стороной к изоляции катушки и не выступать из пазов выше стали статора. В тех случаях, когда клин неплотно прижимает обмотку ко дну паза, под него подкладывается электрокартонная прокладка такой толщины, чтобы при забитом клине обмотка не могла быть сдвинута с места. После забивания клиньев производится соединение катушек в катушечные группы. Концы катушек зачищаются и пролуживаются припоем при помощи электрического паяльника, затем выгибаются при помощи скобочек, соединяются между собой и запаиваются припоем. Место пайки очищается от острых наплывов припоя и изолируется сперва хлопчатобумажной лентой, а поверх нее два раза в три четверти нахлеста – лакированной лентой, на которую накладывается хлопчатобумажная лента один раз вполнахлеста. Для скрепления катушек на них в местах, указанных на рис. 12–3, наматываются бандажи из крученого шнура, толщина которого берется от 2 до 5 мм. в зависимости от размеров катушек. В месте намотки бандажа между катушками части катушки ставятся электрокартонные прокладки (рис. 12–4) толщиной от 2 до 5 мм. Бандажи ставятся ближе к изгибу лобовых частей, как указано на рис. 12–3. Изолированные выводные концы катушечных групп подводятся под бандажи и закрепляются ими.

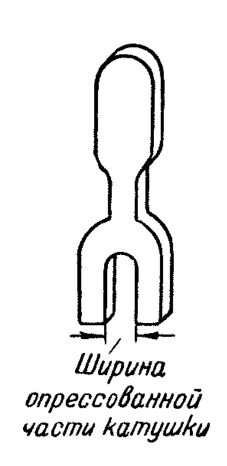


Рис. 12–2. Деревянная вилка.

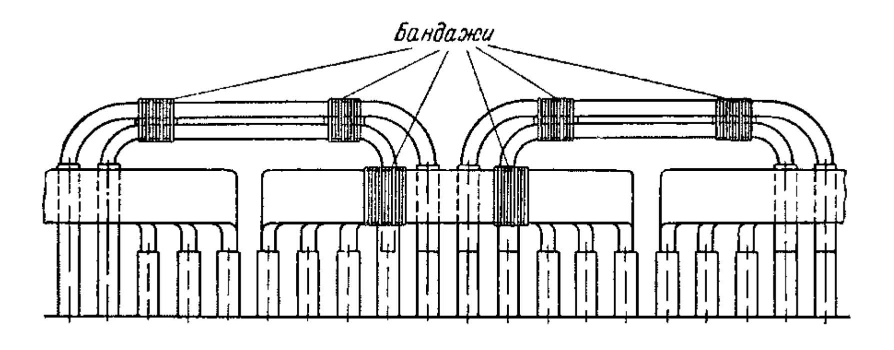


Рис. 12–3. Бандажи на лобовых частях обмотки.

Процесс вкладки верхних прямых катушек аналогичен вкладке нижних отложных, с той лишь разницей, что вначале в паз вкладывается не самая большая катушка, как это было при вкладке нижних катушек, а самая малая. Размеры вылетов лобовых частей выдерживаются также одинаковыми для каждой стороны. После укладки обмотка испытывается на витковое и на корпус.

12–3. Укладка катушек разрезной обмотки.

Рассмотрим укладку катушек разрезной обмотки статора, имеющего закрытые пазы. Катушки вкладываются в пазы статора разрезанной частью с одного торца статора, и затем проводники запаиваются на другом его торце. Изоляция пазовой части выполняется из миканита, опрессованного в горячем состоянии. Лобовая часть каждой катушки выполняется по типу нижних отложных катушек. Разрезные концы катушек после укладки загибаются на другой стороне статора по типу верхних катушек. Разрезная обмотка иногда выполняется с запайкой проводников и их укладкой на второй стороне по типу нижних отложных катушек. Следовательно, в такой обмотке лобовые части с обеих сторон статора после укладки обмотки представляют собой нижние отложные катушки. Перед тем как вставить катушки в пазы статора, необходимо разрезанную ее часть отрихтовать, т. е. выпрямить. Для лучшего прохождения катушки в пазы пазовую часть катушки натирают парафином. Выпрямленные части катушки временно обматываются (стягиваются) хлопчатобумажной лентой вразбег. В качестве примера рассмотрим укладку обмотки с числом пазов на полюс и фазу $q = 3$. Вставка катушек производится следующим образом: берется первая самая малая катушка и одной своей частью вставляется в 1–й паз, а второй – в 8–й паз, а затем равномерно вталкивается в паз на ⅓ своей длины; то же самое делается и со 2–й и 3–й катушками катушечной группы. Это необходимо сделать для того, чтобы было удобнее выполнить межкатушечные соединения. Все катушки вставляются в статор со стороны привода (П), а соединения выполняются на стороне контактных колец (К). Начало и конец каждой катушки изолируются у выхода из пазовой части на такую длину, чтобы изоляция попала под бандаж катушечной группы. Изолировка выводных концов, а равно и переходов между катушками, выполняется в зависимости от рабочего напряжения машины; так, для статора с напряжением:

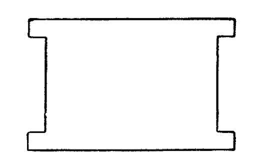


Рис. 12–4. Электрокартонная прокладка.

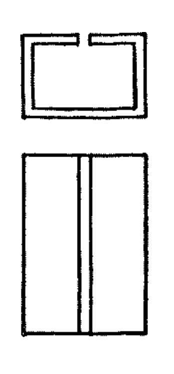


Рис. 12–6. Жестяная скобка.

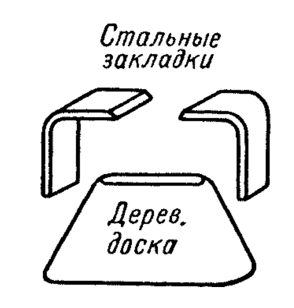


Рис. 12–5. Стальные закладки.

3000 *в* делается 3 оборота лакоткани вполнахлеста.

6000 *в* делается 5 оборотов лакоткани вполнахлеста.

6600 *в* делается 6 оборотов лакоткани вполнахлеста.

Поверх лакоткани накладывается хлопчатобумажная лента вполнахлеста. Здесь, так же как и для обмотки, состоящей из целых катушек, ставятся прокладки в лобовой части между отдельными катушками и накладываются бандажи с подводом под них выводных концов.

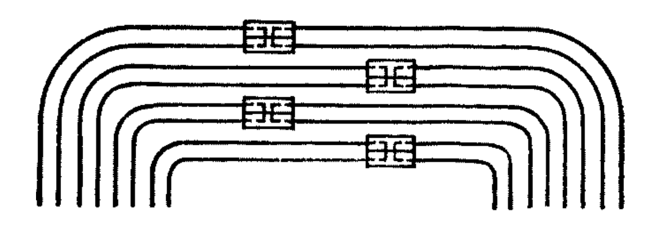


Рис. 12–7. Расположение паек разрезной обмотки.

После наложения бандажей катушка ставится на место, т. е. устанавливается на определенное расстояние от стали, зависящее от рабочего напряжения статора. Осаживание (вталкивание) катушки в пазы производится ручником и деревянным клином. Затем производят заклинку вставленных катушек деревянными клиньями. Обычно клинья для разрезной обмотки делаются из двух частей; они забиваются в пазы с двух сторон стали статора. Укрепив катушки клиньями, статор переворачивают краном и устанавливают стороной К кверху. После вкладки и заклинки катушек необходимо испытать всю обмотку на корпус, а затем выполнить соединение витков катушек. Для соединения витков применяют стальные закладки и деревянные доски. Первая малая катушка изгибается на деревянной доске. Стальные закладки и доска имеют вид, показанный на рис. 12–5, концы их имеют закругление соответственно лобовым частям 2–й и 3–й катушек. Так как каждая катушечная группа состоит из трех катушек, длина лобовых частей которых неодинакова, то стальные прокладки должны быть различной длины соответственно длине лобовой части каждой катушки. Доски делаются таких размеров, чтобы толщина их равнялась расстоянию между лобовыми частями нижних и верхних катушек, а ширина доски с таким расчетом, чтобы она упиралась во внутренние стороны миканитовой опрессовки первой катушки. Загиб и запайка разрезных витков начинается с нижних витков первой катушки, при этом следует учесть и расположить первый нижний виток так, чтобы последний укладываемый виток катушки не был выше стали статора. Один из рабочих плоскогубцами загибает первый проводник справа на деревянную доску и, установив должную длину каждого, отрезает острогубцами концы их, причем концы витков располагаются встык в шахматном порядке так, чтобы места соединений были размещены равномерно по всей длине лобовой части обмотки. Затем рабочий переходит к первой катушке другой катушечной группы, потом к третьей и т. д., где проделывает то же самое. Вслед за ним второй рабочий снимает с концов изоляцию, очищает их бензином и наждачной бумагой и надевает на стык двух концов скобку из жести (рис. 12–6) прямоугольного сечения (разрезные обмотки делаются из меди прямоугольного сечения). Этот рабочий, передвигаясь за первым, проделывает те же операции с последующими катушками. Вслед за вторым рабочим третий электрическим паяльником запаивает во всех катушках припоем скобку с вложенными в нее концами проводников. Четвертый рабочий зачищает пайку от наплывов припоя и изолирует запаянный виток лакотканью толщиной 0,2 мм. вполнахлеста. Чтобы не увеличить размеров катушек, места соединений витков располагают, как мы уже упоминали, в шахматном порядке, т. е. пайки витков смещаются, как это показано на рис. 12–7. Как было указано выше, изгиб проводников производится при помощи плоскогубцев. Губки плоскогубцев должны быть гладкими, чтобы не портить изоляции витков. Правильный изгиб проводников обеспечивает хорошее качество катушки. При неправильном изгибе может получиться, что проводники при выходе из опрессовки будут иметь кривизну, и катушка в указанном месте может быть выше стали, что вызовет необходимость вновь перемотать ее. После того как будет соединена вся катушка, накладывают на витки общую изоляцию. Сначала стягивают витки хлопчатобумажной лентой вразбег и придают им надлежащую форму. Лобовые части витков подколачивают деревянным молотком сверху и с боков, после чего их промазывают лаком. Далее, деревянные доски вынимают и лобовую часть изолируют лакотканью толщиной 0,2 мм. вполнахлеста на прямой части, в три четверти нахлестки в местах изгибов.

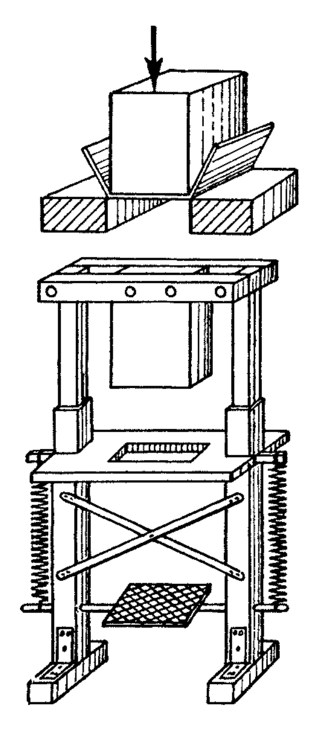


Рис. 12–8. Штамповочное приспособление.

Такая изоляция предусматривается для машин с рабочим напряжением в 3000 *в*. При рабочем напряжении машины в 6000 *в* изолировка производится лакотканью в два слоя. Для того чтобы быть уверенным в качестве выполнения катушек до окончательного соединения их в катушечные группы, вполне целесообразно испытывать на витковое каждую катушку отдельно после соединения ее витков. Это вовремя предупреждает брак. После испытания на витковое первой катушки приступают к соединению концов второй катушки. Для этого ставятся стальные закладки между уложенными витками первой катушки и незагнутыми концами. Для того чтобы стальные закладки плотно сидели на своих местах, вставляют деревянные клинья между прямой частью закладки и миканитовой опрессовкой первой катушки с двух сторон. Загиб витков производится таким же образом, как у первой катушки, и также производятся изолировка и испытание на витковое. После загиба, запайки, изолировки витков и наложения на витки катушки общей изоляции между ними ставятся электрокартонные прокладки, ближе к закругленным частям, на которые наматываются бандажи из крученого шнура толщиной 2 мм. по вырезанным частям электрокартонных прокладок (рис. 12–4). клинья между прямой частью закладки и миканитовой опрессовкой первой катушки с двух сторон. Загиб витков производится таким же образом, как у первой катушки, и также производятся изолировка и испытание на витковое. После загиба, запайки, изолировки витков и наложения на витки катушки общей изоляции между ними ставятся электрокартонные прокладки, ближе к закругленным частям, на которые наматываются бандажи из крученого шнура толщиной 2 мм. по вырезанным частям электрокартонных прокладок (рис. 12–4). Поставленный бандаж для лучшего скрепления смазывается лаком. Забандажированные катушки целиком испытываются на витковое. После испытаний статор переворачивается и стороной К устанавливается кверху. Выводные концы катушки загибаются и изолируются от места выхода из гильзы тремя или шестью слоями лакоткани (в зависимости от напряжения) толщиной 0,2 мм. вполнахлеста и поверх – хлопчатобумажной лентой. Установка досок и стальных закладок производится так же, как и при соединении витков со стороны П. Загиб витков катушки производится следующим образом: первый проводник слева соединяется со вторым проводником справа, остающийся последний проводник слева изолируется двумя слоями лакоткани вполнахлеста и хлопчатобумажной лентой вполнахлеста. Этот конец идет на соединение с началом второй катушки, находящимся справа. Соединенные катушки также испытываются на витковое. Изолированные выходные концы катушек закрепляются под бандажами, один под правый бандаж и второй – под левый. Выводные концы катушек соединяются скобами встык, пропаиваются припоем и изолируются лакотканью и лентой, как указано выше. Верхние и нижние катушки отделяются друг от друга гетинаксовыми прокладками. Эти прокладки ставятся в упор к стали статора. Они закрепляются хлопчатобумажной лентой, которая обертывается вокруг катушек смежных фаз. Затем приступают к соединению *катушек в катушечные группы.*

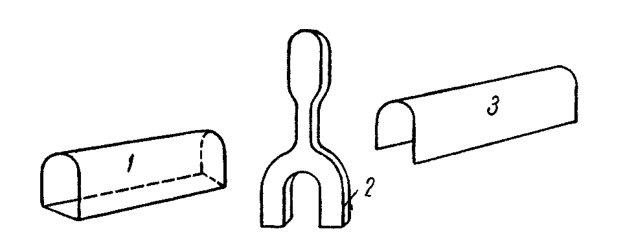


Рис. 12–9. Шаблон для изгиба прокладок.

12–4. Укладка катушек двухслойной обмотки мелких машин.

Изоляция паза низковольтных машин с двухслойной обмоткой состоит из электрокартона толщиной 0,2 мм. лакоткани толщиной 0,2 мм. проходной коробочки из электрокартона толщиной 0,1 мм. и прокладки между слоями из электрокартона толщиной 0,3 мм.

Проходные коробочки изготовляются на штамповочном приспособлении, указанном на рис. 12–8. Нарезанный по определенным размерам электрокартон укладывается между планками; наступая на педаль ногой, производят нажатие клином на листок электрокартона, в результате чего последний выгибается в виде коробочки. Нарезанные межфазовые прокладки (для лобовых частей) сгибаются следующим образом. Прокладки проглаживаются на деревянном шаблоне 1 деревянной вилкой 2 (рис. 12–9), после чего они принимают форму 3. Лакоткань перед нарезкой из рулона вначале складывается наискось и уже после этого нарезается на ножницах. Это делается для того, чтобы лакоткань могла вытягиваться, но вместе с тем не рвалась. Перед укладкой пазовой изоляции необходимо тщательно проверить состояние пазов статора, как это было указано выше. В пазы статора вкладывают пазовую изоляцию, состоящую из электрокартона с лакотканью. Толщину электрокартона берут 0,20–0,25 мм. лакоткань – той же толщины, но она должна быть нарезана длиннее электрокартона на 15–30 мм. Лакоткань огибает электрокартон, как указано на рис 12–10. В качестве примера рассмотрим процесс вкладки обмотки, заготовку которой мы описали выше. Схема обмотки дана на рис. 9–8. Статор устанавливается на специальную подставку, и в пазы статора, помимо вложенной ранее изоляции, вставляются проходные коробочки из электрокартона. Три фазы предварительно намотанной обмотки находятся на столе вкладчицы с правой стороны, причем катушки фаз I и III лежат одна на другой в порядке намотки их на станке, т. е. сверху лежит 1–я катушечная группа, под ней 2–я, 3–я, 4–я и т. д.; порядок же расположения катушечных групп фазы II обратный, т. е. сверху лежит 6–я катушечная группа,, под ней 5–я, 4–я и т. д. Такое предварительное размещение катушек соответствует последовательности их укладки в статор.

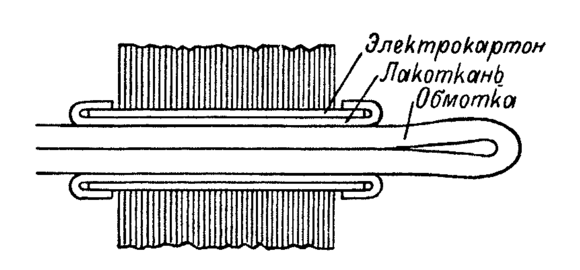


Рис. 12–10. Расположение пазовой изоляции.

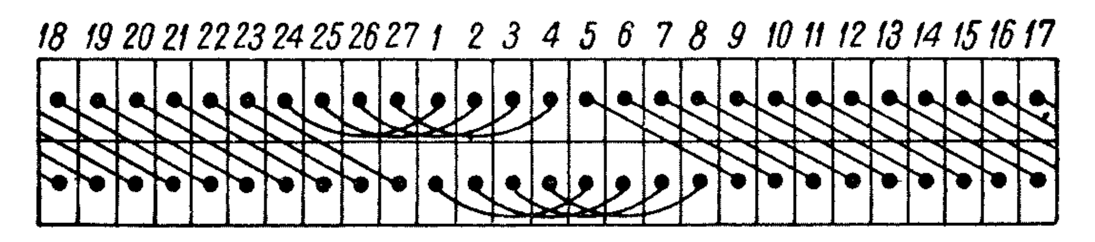


Рис. 12–11. Торцовая схема обмотки.

Рассмотрим последовательность вкладки катушек обмотки. Начнем с укладки ее в первый паз. Сначала укладывается катушечная группа фазы I, состоящая из двух катушек. Левые стороны этой катушечной группы вкладываются в пазы 1 и 2, а правые – в пазы 5 и 6. Стороны этих катушек осаживаются да дно паза; затем берется 6–я катушечная группа фазы II, состоящая из одной катушки, и укладывается на дно пазов 3 и 7, причем для получения соответствующего направления тока в обмотке эти катушки поворачиваются так, чтобы в статоре они лежали рядом своими одинаковыми сторонами. Затем укладывается первая катушечная группа фазы III, состоящая из двух катушек; 1–я катушка этой группы укладывается на дно пазов 4 и 8, правая сторона 2–й катушки, укладывается на дно паза 9, левая ее сторона – вверх паза 5, внизу которого уже имеется сторона катушки фазы I. Таким образом, оказалось уложенным в статор по одной катушечной группе каждой фазы. Концы их являются выводами обмотки. При пояснении последовательности вкладки обмотки мы условно фазы пронумеровали в порядке их укладки в статор; названная нами фаза II на схеме (рис. 9–8) является в действительности фазой III, а фаза III – фазой II. Делая последовательную вкладку всех

катушек согласно торцевой схеме (рис 12–11), мы увидим, что обе стороны четырех первых катушек обмотки смогут быть уложены только на дно пазов, и четыре последние – уложены целиком в верхней части пазов, в противоположность нормальному выполнению двухслойных обмоток, где стороны каждой катушки располагаются как на дне, так и вверху паза.

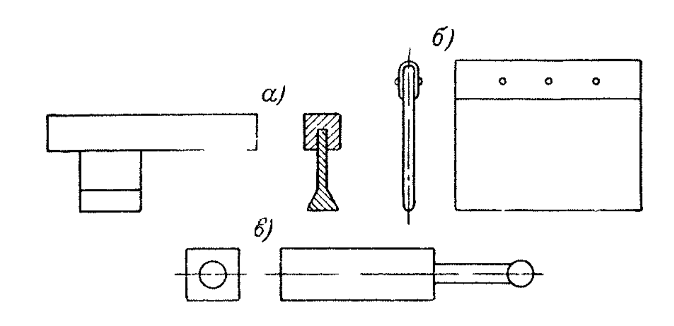


Рис. 12–12. Топорик (*а*), фибровая пластина (*б*), молоток (*в*).

Описанный нами способ укладки обмотки (способ инж. Шорхова) при массовом производстве имеет преимущества, так как ускоряет процесс обмотки. Рассмотрев последовательность укладки катушек обмотки, перейдем к более подробному описанию самого технологического процесса. После вкладки четырех первых катушек они осаживаются плотно на дно пазов осаживающим клином ("топориком", рис. 12–12, *а*). Поверх этих катушек укладывают в пазы межслойные прокладки из электрокартона. 5–я катушка, как мы указали выше, укладывается правой стороной на дно 9–го паза, а левой стороной в верхнюю часть 5–го паза, при этом витки стороны секции для более правильной укладки вкладываются в паз поочередно; для этой цели пользуются фибровой пластинкой (рис. 12–12, *б*). Так как 5–й паз заполнен целиком, то коробочки обрезаются и загибаются в пазу вперекрой этой же фибровой пластинкой; после чего обмотку в пазу осаживают клином – топориком, по которому ударяют обмоточным металлическим молоточком (рис. 12–12, *в*).

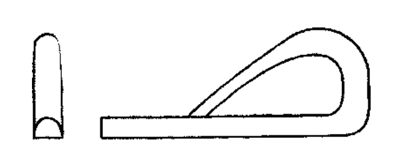



Рис. 12–13. Обратный клин.

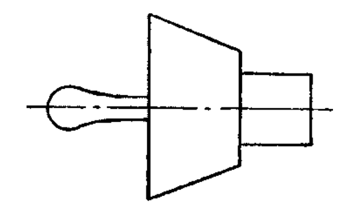


Рис. 12–14. Деревянная оправка

После осадки обмотки в паз вставляют металлический обратный клин ("собачку", рис. 12–13) и с противоположной стороны забивают основной клин в паз, который плотно поджимает обмотку. Затем в лобовых частях с обеих сторон устанавливаются междуфазные прокладки из лакоткани в один слой. Аналогично изложенному укладываются все остальные катушки. После этого с помощью иглы и шпагата бандажируют лобовую часть обмотки, противоположную выводам. Далее, в статор вставляют деревянную оправку ("колотушку", рис. 12–14), на которую ложатся лобовые части обмотки, и фибровым клином околачивают обмотку, придавая ей определенный размер. То же самое делают с лобовыми частями противоположной стороны; при этом обрезают ножницами излишне выступающие концы межфазовых прокладок. Если вставленный пазовый клин (постоянный) треснул или слабо держится в пазу, то с помощью стального гребешка (рис. 12–15) его вынимают и заменяют новым. После осаживания и бандажировки стороны, противоположной выводам, статор поступает на испытание на корпус и витковое, а затем производят изолировку переходов, петель и присоединение выводов. При присоединении выводов последние очищают ножом от лака и эмали и скручивают с выводящим проводом, после чего производят сварку.



Рис. 12–15– Стальной гребешок.

К сварочному приспособлению для безопасности работы подводится напряжение в 12 *в* от сети через трансформатор. Следующей операцией является изолировка лакотканью концов, которые равномерно располагаются по обеим сторонам в лобовой части обмотки и подвязываются к ним шпагатом или тафтяной лентой.

12–5. Укладка катушек двухслойной обмотки с гильзовой изоляцией пазовой части (микафолиевая опрессовка).

Для примера возьмем статор с открытыми пазами. Число пазов 96. Шаг равен 10. Подготовка пазов статора производится так же, как указано в начале главы. Если пазовая опрессованная часть катушек выполнена без предохранительной бумаги сверху, то при вкладке в пазы статора вставляется электрокартонная проходная коробка. Вкладка катушек производится двумя рабочими, стоящими с обеих сторон статора. Катушки укладываются таким образом, чтобы выводные концы находились на стороне контактных колец в собранной машине. Ниже излагается последовательность вкладки при наблюдении со стороны контактных колец. Сначала вкладывается в паз правая сторона катушки (если смотреть со стороны выводных концов), и когда пазовая часть ее дойдет до половины паза, вкладывается ее левая сторона. В первых десяти катушках левые стороны вкладываются не полностью в паз, так как при закладке правых сторон их придется поднять кверху для того, чтобы последние могли лечь на дно паза. Катушка должна входить в паз без особых усилий после того, как ее левая часть будет опущена в паз на $^1/_4$ высоты опрессовки. Затем рабочий, стоящий на стороне выводов, накладывает по длине всей опрессовки деревянную доску и, легко постукивая по ней ручником, осаживает правую сторону катушки на дно паза. Одновременно второй рабочий, стоящий на противоположной стороне статора, также накладывает на опрессовку левой стороны доску и, постукивая по ней ручником, осаживает и эту сторону в паз до положения, когда верх гильз будет на уровне стали. Сказанное относится только к десяти первым катушкам. При вкладке 11–й катушки поступают по–другому. Поверх нижней стороны 1–й катушки, лежащей на дне 11–го паза, укладывается электрокартонная полоска толщиной от 0,5 до 2 мм. смотря по имеющемуся месту между опрессовкой верхней и нижней сторон секций, лежащих в 11–м пазу. На рис. 12–16 показан разрез паза с электрокартонной прокладкой между верхней и нижней сторонами катушек. Правая сторона 11–й катушки также при помощи ручника осаживается на дно 21–го паза одним рабочим. Левая сторона катушки осаживается в 11–й паз, где на дне уже лежит правая сторона 1–й катушки. Левая сторона катушки заклинивается деревянными клиньями, забиваемыми в ласточкин хвост паза с той и другой стороны статора.

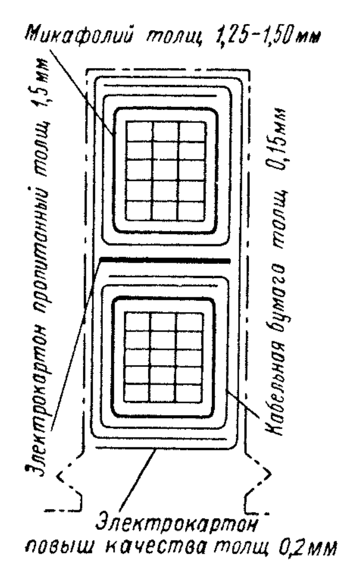


Рис. 12–16. Разрез паза.

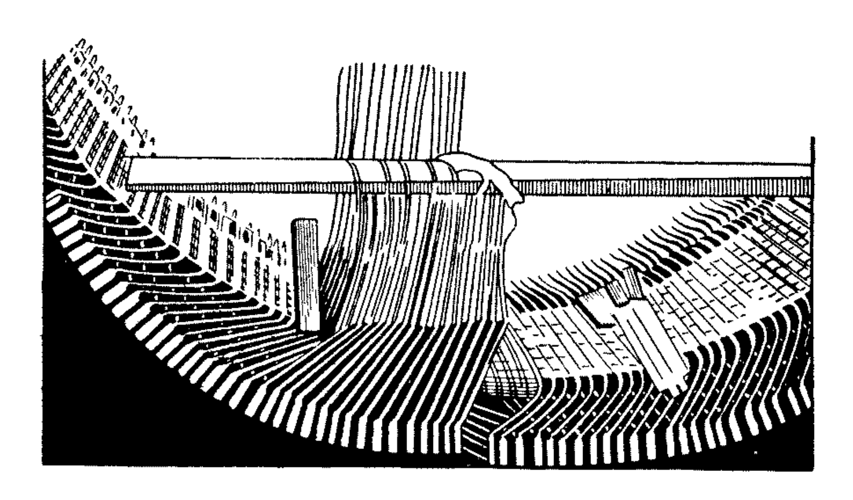


Рис. 12–17. Статор в процессе вкладки обмотки.

При большой длине стали статора клинья забиваются по два и более с каждой стороны. При вкладке катушек в пазы нужно следить за тем, чтобы вылеты их с той и другой стороны были одинаковы. Кроме того, следует выдержать необходимые расстояния лобовых частей обмоток от металлических частей статора. Таким же путем вкладываются остальные катушки до последних десяти. На рис. 12–17 показан статор с двухслойной обмоткой в процессе вкладки. Для вкладки последних десяти катушек необходимо поднять и укрепить на весу десять сторон первых не полностью вложенных катушек. Для этого их осторожно вынимают из пазов по одной и, осторожно отгибая внутрь статора, при помощи шпагата или ленты подвязывают к деревянной планке, вставленной и укрепленной внутри статора. В процессе вкладки двухслойной обмотки самым ответственным моментом является вкладка последних десяти катушек, так как поднимаемые катушки испытывают изгибающие усилия. Здесь необходимы большая аккуратность и осторожность. На уложенные правые стороны последних десяти катушек также кладутся электрокартонные прокладки, и поднятые левые стороны первых десяти катушек опускаются и вкладываются в соответствующие пазы. Уложенные катушки заклиниваются. После вкладки и заклинки катушек приступают к укреплению их лобовой части (головок) к бандажному кольцу. Бандажное кольцо представляет собой круглую сплошную трубку, согнутую кольцом. Кольцо имеет различные сечения в зависимости от мощности и габаритов статора. Диаметр кольца от 13 мм. и выше. В более крупных статорах лобовые части обмотки прикрепляются к кольцам, изготовленным из стали квадратного сечения; эти кольца в свою очередь прикрепляются болтами к корпусу статора. Кольцо должно быть хорошо изолировано, так как к нему прилегают головки катушек.

Изолировка бандажных колец производится различно – в зависимости от рабочего напряжения машины. Так, например, для напряжения от 525 до 3150 *в* кольца изолируются тремя слоями лакоткани толщиной 0,3 мм. вполнахлеста и одним слоем киперной ленты. Для напряжения от 3150 до 6000 *в* изоляция кольца состоит из трех рядов микаленты толщиной 0,3 мм. четырех рядов лакированной ленты толщиной 0,2 мм. и одного слоя киперной ленты толщиной 0,45 мм. Изолированные кольца покрываются битумномасляным лаком воздушной сушки. Для машин, работающих в сырых помещениях, бандажные кольца изолируются микалентой. Количество слоев микаленты равно числу слоев лакоткани, сверху она покрывается хлопчатобумажной лентой и временной киперной лентой, а затем подвергается компаундировке. После этого снимается временная лента, и кольцо лакируется покровным битумно–масляным лаком воздушной сушки. Кольцо укрепляется возле головок катушек. Между головками катушки и кольцом помещают электрокартонную лакированную прокладку, скрепленную шнуром. Количество оборотов шнура делается от 7 до 10. Наличие бандажного кольца в случае короткого замыкания предохраняет машину от больших разрушений. Установив кольцо на одной стороне, устанавливают бандажное кольцо и на другой; к нему также прикрепляют лобовые части катушек. Затем статор испытывается на витковое и на корпус и передается на соединение катушек в катушечные группы.

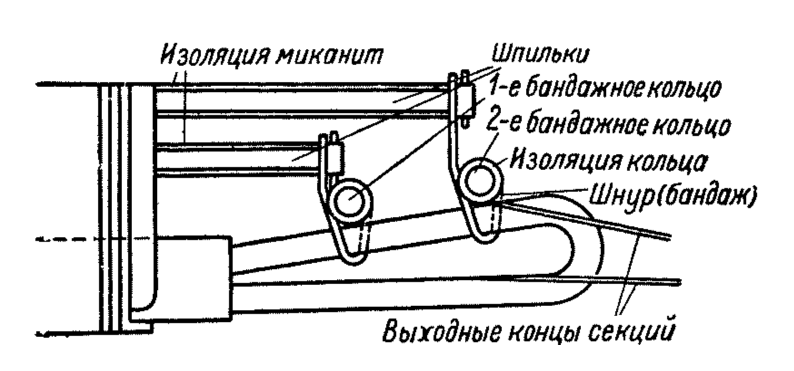


Рис. 12–18. Крепление бандажного кольца.

12–6. Укладка катушек двухслойной обмотки с непрерывной изоляцией.

Для примера возьмем статор с шестью пазами на полюс и фазу. В каждой катушке 16 проводников. Шаг обмотки равен 14. Вначале устанавливаются бандажные кольца для крепления лобовых частей обмотки. Для установки колец ввертываются по окружности статора с обеих его сторон стальные шпильки, изолированные миканитом, стеклотканью, пропитанной в ЭР1–30 или бакелизированной бумагой. На рис. 12–18 показаны два ряда таких шпилек (первый ряд для одного кольца и второй ряд для другого). К шпилькам прикрепляются бандажные кольца. Каждое кольцо в зависимости от длины имеет от четырех и более приваренных стальных ушек. Кольца изолируются до установки на свои места. Кольцо ушками надевается на шпильки и гайками прикрепляется к ним. На каждой стороне статора, как было сказано выше, ставятся два кольца: кольцо с меньшим диаметром располагается ближе к стали статора, а кольцо с большим диаметром – ближе к головкам катушек. После установки колец приступают к вкладке катушек в пазы статора. Для крепления бандажных колец вместо шпилек также применяют кронштейны, которые крепятся болтами к нажимному кольцу статора. Для обмотки с непрерывной изоляцией достаточно иметь обычную, как указано выше, подготовку пазов. Проходные коробки здесь не ставятся. Сперва вставляются первые 14 катушек, причем на дно паза полностью опускаются только правые их стороны (если смотреть со стороны выводных концов). При укладке необходимо следить за тем, чтобы вылеты лобовых частей обмотки были одинаковы с обеих сторон. Кроме того, необходимо выдержать расстояния лобовых частей обмотки от металлических частей машины. Вкладка катушек производится в горячем состоянии, так как изоляция в холодном состоянии очень хрупка. Поверхность изоляции промазывается парафином или миканитовым мылом. Подогрев катушек ведется током, получаемым от генератора постоянного тока напряжением не выше 12 *в*, или в специальных печах–термостатах с t = 120–130°C. Время нахождения катушек в термостате не более 45 мин. В зависимости от сечения проводника и величины самой катушки, в случае нагрева током, последний регулируется так, чтобы процесс нагрева длился 30–40 мин. и чтобы катушка нагревалась равномерно до температуры 75–90°C на поверхности изоляции, плотность тока при этом допускается не выше 8 а/мм^2. Одновременно производится нагрев нескольких катушек (от двух до четырех), соединенных последовательно. Нагрев меди большим током не рекомендуется, так как при этом медь, быстро нагреваясь удлиняется, что может привести к разрыву изоляции. Более высокая температура окружающего воздуха в термостате способствует также разбуханию изоляции, отставанию ее от меди. Перед нагревом в определенных местах лобовых частей катушек ставятся дистанционные деревянные прокладки, которые шнуром прикрепляются к катушке. Они обеспечивают необходимый зазор между лобовыми частями катушек. Практически из–за неравномерной толщины лобовых частей, главным образом со стороны выводов, приходится заменять часть прокладок более тонкими; это делается по месту. Место установки дистанционных прокладок указано на рис. 12–19. При нагреве током катушек, соединенных последовательно, нагрев проверяют термометром в двух–трех местах. Когда их температура поднимается до 75°C, отсоединяют одну катушку, оставляя такой ток, при котором остальные катушки только поддерживали бы температуру 75°C, и вкладывают в статор отключенную катушку. Вкладывают катушку двое рабочих, стоящих с двух сторон статора. Направив правую сторону катушки (если смотреть со стороны выводов) в паз, на прямую пазовую часть ее накладывают мягкий клин, состоящий из нескольких слоев картона, обвитого хлопчатобумажной лентой. Постукивая по клину осторожно и равномерно деревянными ручниками, осаживают правую сторону катушки до половины глубины паза. Затем при помощи деревянной доски и ручников ее осаживают равномерно на дно паза. Для полного осаживания катушки на дно паза в его ласточкин хвост с краев вставляют стальной клин с обеих сторон статора.

Затем в паз между стальными клиньями и катушкой с обеих сторон вставляют два конусных деревянных клина. В верхней части деревянный клин упирается в поставленные в ласточкин хвост стальные клинья. Ударами ручника клинья подбивают до полного прилегания к вложенной стороне катушки. Таким путем достигается плотная и равномерная осадка стороны катушки по всей длине ко дну паза. Конусные деревянные клинья остаются в пазу в указанном положении до полного остывания катушки. После заклинивания лобовые части правой стороны катушки е обеих сторон статора прикрепляются к бандажным кольцам, для чего ставятся по два бандажа из шнура, которые подтягивают их к этим кольцам. Так как бандажи ставятся, когда катушка находится в горячем состоянии и изоляция на ней мягкая, то под бандаж следует подложить прокладку из электрокартона. Эта прокладка имеет вид колпачка или вилки, которая своими концами упирается в бандажное кольцо. Описанным способом вкладываются и закрепляются бандажами первые 14 катушек, которые уложены в пазы только правыми сторонами. Приступая к вкладке 15–й катушки и затем последующих, поступают таким образом: 15–ю катушку в горячем состоянии (при температуре около 75° С) правой стороной укладывают на $^{1}/_{2}$ высоты в 29–й паз, затем направляют левую сторону ее в 15–й паз, где лежит правая сторона 1–й катушки. Когда левой стороне дают соответствующее направление, на правую сторону накладывают мягкий клин, и двое рабочих осаживают ударами ручника по мягкому клину правую сторону катушки до уровня паза. Далее, рабочие осаживают обе стороны катушки одновременно: правая сторона катушки опускается на дно паза ударами ручника по деревянной доске, накладываемой на прямую (пазовую) часть катушки; левая сторона также осаживается при помощи мягкого клина и ручника до уровня стали, а затем при помощи деревянной доски и ручника – вплотную к лежащей в пазу нижней стороне первой катушки. После этого в ласточкин хвост 15–го паза забиваются деревянные клинья с обеих сторон статора. Правая же сторона катушки осаживается деревянными конусными клиньями, как указывалось ранее. Лобовые части обеих сторон катушки рихтуются при помощи деревянного ручника и мягкого клина из электрокартона, для этого к ним прикладывается, как указано на рис. 12–19, деревянная планка. В середину этой планки ставится домкрат, чтобы отвести и выправить лобовую часть. Домкрат стороной Ъ упирается в деревянную планку, а стороной а – в сталь статора (в нажимной палец). В середине вращающейся части гайки *с* имеется отверстие для вставки стального прута (для удобства поворота гайки). При соответствующем повороте гайки домкрат нажимает на лобовую часть и отводит ее в надлежащее положение. Это делается на обеих сторонах статора, после чего лобовые части подвязываются в двух местах к бандажным кольцам. Всю операцию следует выполнить пока катушка еще в горячем состоянии, т. е. пока изоляция мягка и эластична. В противном случае возможны механические повреждения и ослабление изоляции, что при испытании на корпус может вызвать пробой. Чтобы вложить последние 14 катушек, необходимо поднять 14 левых (верхних по расположению в пазу) сторон первых катушек, которые ранее были временно уложены в пазы. Так как эти катушки успели уже остыть за время вкладки остальных катушек, то их необходимо подогреть. Для этого указанные 14 катушек соединяют последовательно и через них пропускают ток.

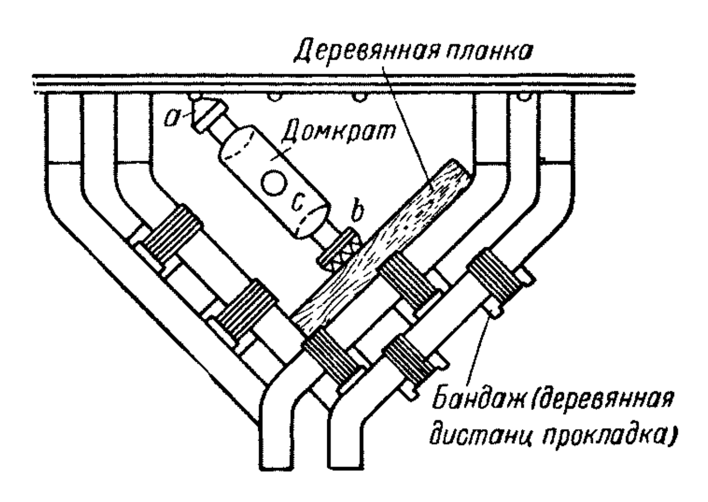


Рис. 12–19. Рихтовка лобовых частей.

Нагрев производится в течение 20–25 мин, и температура катушек доводится до 75–90°С. Нагретые катушки поочередно отсоединяют по одной, осторожно поднимают, отгибают внутрь статора и подвязывают их к укрепленной доске (рис. 12–17). При этом ток в оставшихся катушках уменьшают, поддерживая температуру в них 75–90°С. Так поднимают все 14 сторон катушек и закрепляют каждую самостоятельно, что необходимо для удобства дальнейшего опускания их после вкладки всей обмотки. Затем нагревают до той же температуры 14 последних катушек, правые стороны которых должны быть вложены на дно освобожденных пазов. Вкладка последних катушек весьма затруднительна. Во–первых, она требует быстроты, чтобы катушка не могла остыть, во–вторых, сама по себе вкладка очень неудобна вследствие большой тесноты. Процесс вкладки последних катушек происходит так же, как было описано выше. Когда уложена последняя катушка, следует поочередно опускать поднятые левые верхние стороны первых катушек, но предварительно необходимо опять подогреть катушки до температуры 75–90°С. Опускание катушек в пазы и заклинка их производятся так же, как и раньше. На левой стороне лобовых частей первых 14 катушек дистанционные прокладки до укладки сторон в пазы не ставятся. Когда вкладка всех катушек закончена и обмотка заклинена, статор поступает на испытание на витковое и корпус. На рис. 12–20 показан статор после укладки обмотки. Вкладка двухслойной обмотки с непрерывной изоляцией более удобна, так как разогретая обмотка становится гибкой, легче укладывается в паз, при этом получается меньше повреждений, чем при укладке холодной обмотки с гильзовой микафолиевой изоляцией. Несмотря на то, что первые катушки подвергаются троекратному нагреву и подъему, обмотка с непрерывной изоляцией при тщательной укладке обладает высоким качеством. Вкладка статорных катушек двухслойной обмотки с непрерывной кремнийорганической изоляцией выполняется таким же способом, как выше указано. Подогрев катушек следует вести до температуры 50–60°С, в отдельных случаях, если сечение витка катушек менее 15 мм^2, можно укладку производить в холодном виде, при этом требуется аккуратность в работе для исключения повреждения изоляции.

12–7. Обмотка статоров способом протяжки (ручная обмотка).

Рассмотрим выполнение статорных обмоток синхронных и асинхронных машин способом протяжки. Ручная обмотка, выполняемая по способу протяжки, в настоящее время вытесняется шаблонной обмоткой из–за ряда преимуществ: экономии активных материалов (меди), более быстрого ее изготовления, простоты выполнения и пр. Но тем не менее, имеется некоторое количество электрических машин, выпущенных электромашиностроительными заводами до внедрения двухслойных обмоток, выполненных старым способом – протяжкой. Обмотка в протяжку выполняется в том случае, когда сталь статора имеет закрытые или полузакрытые пазы. При изоляции обмотки от стали в пазы вставляют изоляционные гильзы. Изоляция пазов низковольтных машин состоит из гильз, изготовляемых из электрокартона, высоковольтных машин – из микафолия или миканита. Последние могут быть изготовлены вручную или на специальных обкаточных станках.

а. Изготовление микафолиевых гильз вручную.

Процесс изготовления микафолиевых гильз следующий. На стальную оправку, имеющую формы и внутренние размеры гильзы, наматывается полтора слоя кабельной парафинированной бумаги толщиной от 0,08 до 0,1 мм. Затем на кабельную бумагу наматывается микафолий толщиной от 0,25 до 0,5 мм. Число слоев микафолия определяется толщиной гильзы, которая в свою очередь зависит от рабочего напряжения машины.

Толщина гильзы для статора с рабочим напряжением 3000 *в* берется 1,8 мм. а для статоров напряжением 6000–6600 *в* – от 2,25 до 2,5 мм. Каждый слой микафолия проутюживается горячим утюгом для получения плотного прилегания и склеивания между собой отдельных слоев. Поверх наложенного микафолия наматывают полтора слоя кабельной бумаги, которая предохраняет его от механических повреждений. Наружный слой этой бумаги защищает микафолий при установке гильзы в паз статора, а внутренний – при протяжке проводника через гильзу. Далее гильза подвергается горячей опрессовке (выпечке) для получения требуемого размера, удаления лаковых растворителей и придания ей монолитности. Опрессовка и выпечка гильзы совершенно аналогичны опрессовке и выпечке изоляции катушек (см. §9–1). После выпечки и охлаждения гильза очищается от всяких неровностей и подвергается испытанию "на пробой". Испытательное напряжение дается приблизительно четырехкратным по отношению к рабочему напряжению. Хорошо изготовленная гильза должна быть длиннее активной стали, иметь гладкие и ровные поверхности как внутреннюю, так и наружную, и при постукивании по ней металлической палочкой издавать чистый звук. Изготовленная указанным способом гильза поступает к обмотчику. Таким же способом изготовляется и миканитовая гильза.

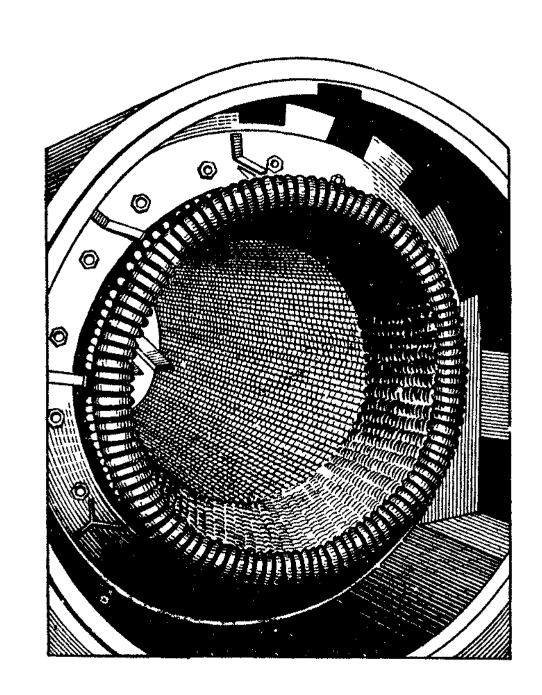


Рис. 12–20. Статор с уложенной обмоткой.

б. Изготовление микафолиевых гильз на станке.

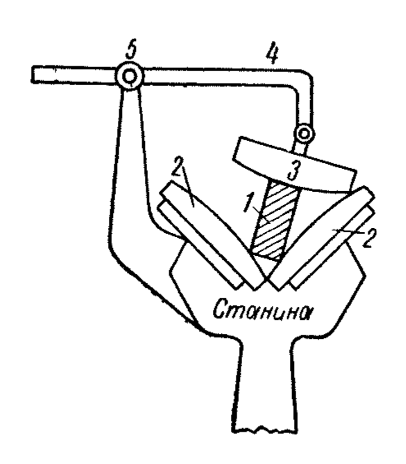


Рис. 12–21. Схема обкаточного станка.

Изготовление микафолиевых гильз на станке производится следующим образом. Лист микафолия кладется на широкую горячую плиту. После того как лак достаточно размягчится, кладут на него оправку с предварительно намотанной на ее поверхность парафинированной бумагой – обычно телефонной – и обворачивают ее вручную. Для придания прочности микафолию на последний слой его наносится слой кабельной или телефонной бумаги. После этого оправка с микафолиевой изоляцией устанавливается в обкаточный станок, схематический разрез которого изображен на рис. 12–21. Оправка с микафолием 1 прикрепляется к двум дискам, расположенным с обеих сторон станка (диски на схеме не показаны). Вращение дисков производится электродвигателем. Одновременно с вращением дисков вращается и оправка с намотанным на нее микафолием. Как видно из схематического разреза, стержень помещается между двумя неподвижными плитами 2 и верхней нажимной планкой 3 (подвижной). Нажимная планка прикрепляется к штоку 4 и шарниру 5, благодаря которому шток вращается. Давлением нажимной планки стержень прижимается к плитам, имеющим электрический обогрев. Обкатываясь между плитками, нагретыми до 200–220°С, лак, находящийся в микафолии, размягчается, что способствует более плотному прилеганию листочков слюды друг к другу. Обкатка микафолием производится коло 5–7 мин.

Вынутая после обкатки оправка с микафолием кладется в пресс между прессипланками, где и обжимается до требуемых размеров. Не вынимая запрессовки из пресспланок, ей дают остыть в зажатом состоянии. В холодном состоянии оправка закрепляется в тисках, снимается вручную гильза и очищается от парафинированной бумаги. Оправку рекомендуется применять разъемную – из двух конусных клиньев.

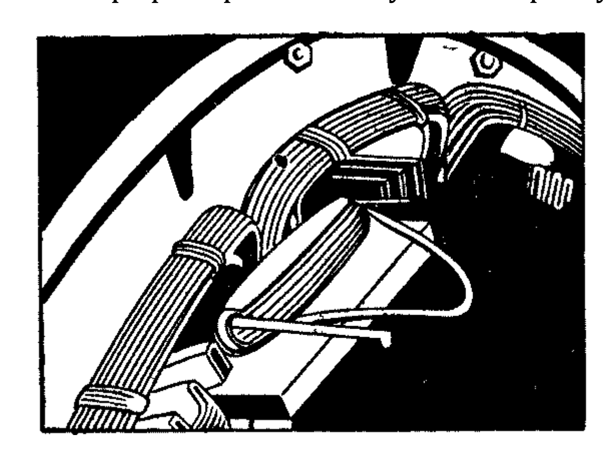


Рис. 12–22. Шаблоны для намотки верхней катушки.

в. Изготовление электрокартонных гильз.

Для изоляции от паза проводников низковольтных машин применяются, как мы уже упоминали, гильзы из электрокартона. В качестве примера возьмем машину, изоляция паза которой по расчетным данным должна состоять из лакоткани толщиной 0,4 мм. и электрокартона толщиной 0,6 мм. т. е. толщина гильзы должна быть равна 1 мм. Для изготовления гильз берутся два деревянных конусных клина–оправки с одинаковыми углами. Размеры клиньев таковы, что в сумме они дают высоту, немного большую, чем общая высота проводников, укладываемых в паз. Например, если размеры всех проводников равны 16,8×23 мм. то оправки должны иметь размер 17,2×23,2 мм. Далее, возьмем электрокартон толщиной 0,2 мм. в 3 слоя и лакоткань толщиной 0,2 мм. в 2 слоя. Учтем, что гильзы должны быть длиннее стали статора на 15–20 мм. с каждой стороны статора, т. е. если статор имеет длину стали, например 400 мм. то гильзу делают длиной 430–440 мм. Поверх клиньев, немного раздвинутых для уменьшения общих размеров, накладывается один оборот электрокартона, смазанного лаком. Затем кладется лакоткань, которая вместе с последними двумя оборотами электрокартона плотно накручивается и прижимается к оправке, после чего поверх полученной гильзы накладывается по всей ее длине хлопчатобумажная лента вразбег для скрепления гильзы. Затем конусные клинья подбиваются с обеих сторон внутрь до намеченного заранее на каждом клине предела, определяющего необходимые размеры гильз. Гильза распирается клиньями, после чего она снимается с оправки и, когда лак высохнет, считается готовой.

г. Подготовительные работы.

Для примера возьмем обмотку восьмиполюсного трехфазного статора высокого напряжения с 72 пазами. В пазу 36 проводников. Обмотка выполняется проводом круглого сечения с изоляцией ПБДО (хлопчатобумажная двойная, с оплеткой). Статор, поступивший для обмотки впротяжку, должен иметь пазы соответственно подготовленными. После осмотра в те пазы статора, где будут лежать нижние катушки, вставляются миканитовые гильзы. Их следует размещать по пазам статора, исходя из следующего подсчета. При 72 пазах для трехфазного статора на каждую фазу приходится 72/3 = 24 паза. Число пазов на полюс и фазу будет равно 24/8 = 3. Следовательно, каждая катушечная группа имеет 3 катушки и занимает 6 пазов. Таким образом, вся обмотка будет состоять из 12 катушечных групп (6 верхних и 6 нижних). В каждой фазе должны быть 2 верхние и 2 нижние катушечные группы. Соответственно сделанному подсчету следует разместить гильзы для нижних катушек по пазам статора. Занимаем 6 рядом лежащих пазов и, пропустив 6 пазов, ставим вновь 6 гильз. Уложенные в пазы гильзы укрепляются вверху паза деревянными клиньями. Эти клинья в большинстве случаев состоят из двух частей, забиваемых с двух противоположных сторон статора.

Изготовляются клинья из сухого бука и провариваются в масле. Укрепленная клином гильза должна плотно сидеть в пазу. Для намотки катушек и придания их лобовым частям надлежащего очертания применяются специальные деревянные шаблоны. Такой шаблон для намотки верхних катушек показан на рис. 12–22. Лобовая часть его имеет очертание внутренней стороны лобовой части первой катушки. Шаблон для намотки нижних катушек показан на рис. 12–23; он устанавливается с двух сторон стали статора, причем обе части шаблона соединяются клином, имеющим форму ласточкина хвоста. Шаблон укрепляется деревянной планкой, упирающейся одним концом в шаблон, а другим – в диаметрально противоположную часть стали статора. Между статором и лобовой частью шаблона с обеих сторон статора устанавливаются доски толщиной около 30 мм. показанные на рис. 12–23. Доски делаются разрезными, чтобы их легко было снимать после намотки. При частичном ремонте можно обойтись без шаблонов. В этом случае применяют так называемые кулачки (рис. 12–24), имеющие хвосты для крепления их в пазах статора. Перед намоткой нижних катушек шаблон должен быть установлен вплотную к стали статора, между шаблоном и сталью устанавливаются деревянные доски. Стороны шаблона должны быть хорошо подогнаны к гильзам первой внутренней катушки катушечной группы. Доски должны плотно подпирать миканитовые гильзы, чтобы во время намотки при натяжении проводника предохранить гильзу от повреждения. Затем заранее заготовленные деревянные шпильки вставляют в гильзы обматываемых пазов. Количество деревянных шпилек изготовляется из следующего расчета. В каждом пазу должно быть уложено 36 одинарных проводников, а по ширине паза помещаются 3 проводника, следовательно, по высоте будет 12 рядов проводников. Ширина должна быть равна тройному диаметру проводника с изоляцией. Шпильки изготовляются длиннее, чем миканитовые гильзы на 100 мм. (по 50 мм. на каждую сторону статора). Для лучшего использования шпилек следует изготовить их длиной, достаточной для намотки верхних катушек. Чтобы во время протаскивания проводника шпильки не вылетали из гильз вместе с протаскиваемым проводником, применяют "крючки" (рис. 12–25). Крючки – это те же шпильки, к одному концу которых привязывается вязальной проволокой небольшой деревянный отрезок от этих же шпилек. В паз вставляются три стальных крючка, которые по длине должны быть не менее верхних гильз, а по диаметру равны диаметру проводника с изоляцией. На рис. 12–26 видны шпильки и крючки в гильзах перед началом обмотки.

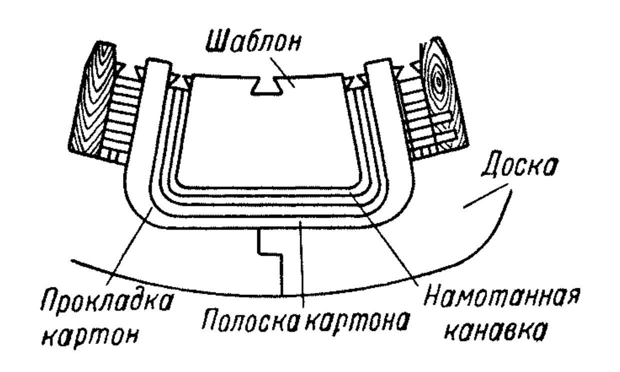


Рис. 12–23. Шаблон для намотки нижней катушки.

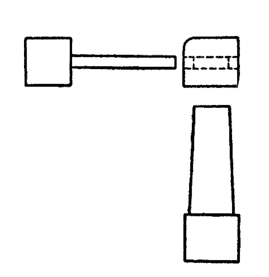


Рис. 12–24. Кулачки для частичного ремонта.

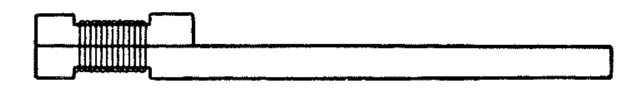


Рис. 12–25. Деревянный крючок.

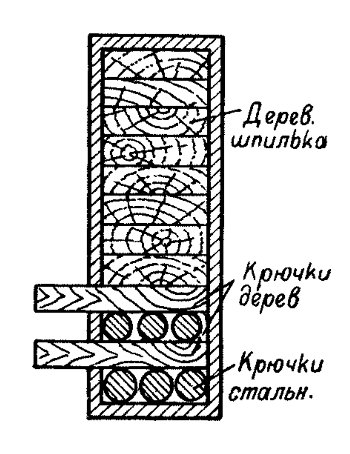


Рис. 12–26. Установка шпилек и крючков.

д. Намотка нижних катушек.

Бухта с проводником для удобства работы насаживается на вращающийся конус, затем отматывается отрезок проводника, необходимый для обмотки одной катушки. Начальный конец проводника защищается от изоляции на длину, превышающую длину гильзы. Неровности конца закругляются, чтобы при вставке в паз не повредить внутренней стенки гильзы. Для определения длины провода, необходимой для намотки требуемого числа витков (в приведенном примере 36 витков), обмеряют шпагатом длину одного витка. Зная длину одного витка, можно отмерить от бухты необходимую длину провода. Для 36 витков мы получаем большую длину проводника, поэтому ради экономии времени и удобства работы берут приблизительно половину этой длины, т. е. на 18 витков. Отмеренный провод отрезают от бухты. Такой способ намотки позволяет ее ускорить, и проводник меньше повреждается при протаскивании. Протяжка производится вручную двумя рабочими, находящимися по обе стороны статора. Рабочие поочередно протаскивают проводник через пазы с одной стороны статора на другую. Чтобы при работе не запутать и не повредить проводник, его укладывают в круг. Проводник необходимо протереть парафином, это уменьшает трение и в значительной мере способствует сохранению изоляции. Порядок намотки проводников лежащих в гильзах показан на рис. 12–27, *а*, где изображены два паза и стрелкой указано направление намотки.

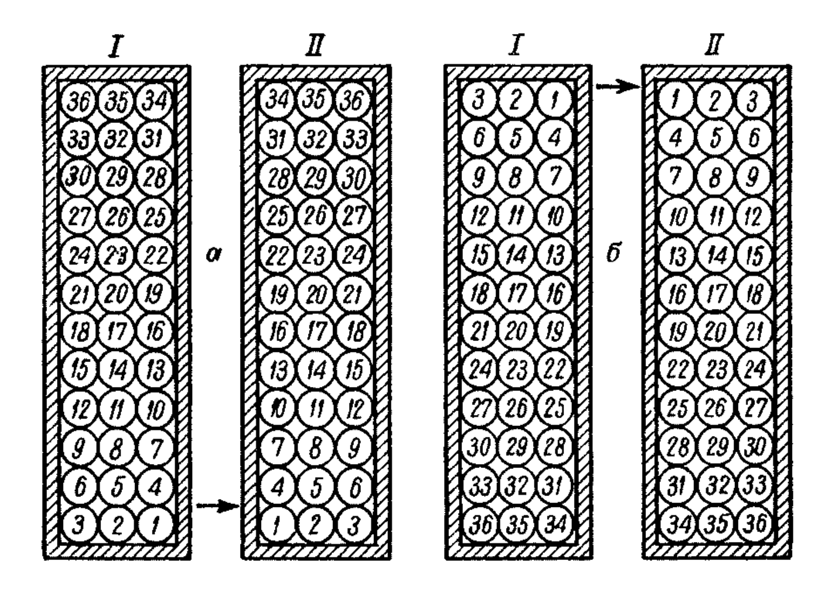


Рис. 12–27. Порядок намотки проводников:
а – нижних катушек; *б* – верхних катушек.

Протяжка и укладка производятся следующим образом. Зачищенный конец проводника вставляется со стороны К (контактных колец) одним из рабочих на место вытащенного первого стального крючка из паза с левой стороны шаблона (рис. 12–27). Второй рабочий протягивает весь проводник, предназначенный для намотки 18 витков, на сторону П (привода), где и укладывает его на пол в круг. Далее, второй рабочий вставляет начало проводника на место первого стального крючка со второй стороны шаблона и пропускает его через паз, а первый рабочий опять протаскивает проводник на сторону К. Первый рабочий вытаскивает второй стальной крючок в первом пазу и на его место пропускает начало проводника. Второй рабочий протаскивает проводник и также направляет его со своей стороны на место второго стального крючка. Первый рабочий вытаскивает третий крючок (первого паза) и ставит на его место проводник.
Протаскивание третьего оборота производится таким же образом, но несколько медленнее, при обязательном парафинировании.

Проводники второго ряда протаскиваются между вторым и четвертым деревянными крючками (рис. 12–26); между этими крючками устанавливаются стальные крюки. Протаскивание проводника между деревянными крючками необходимо, с одной стороны для сохранения рядов, а с другой – для сохранения целости изоляции. После намотки второго ряда вынимают нижний деревянный крючок, и второй ряд проводников занимает его место. Вытащенный крючок ставится на место 6–й деревянной шпильки. Между 4–м и 6–м деревянными крючками ставятся стальные крючки. Далее, процесс повторяется до тех пор, пока не будет использована вся длина провода, предназначенная для 18 витков. Для укладки витков на лобовой части начало проводника изолируется 3 раза лакотканью толщиной 0,2 мм. вполнахлеста (для напряжения 3000 *в*) и укладывается со стороны К на торцовой стороне шаблона. На стороне П первый виток укладывается на шаблон вплотную к его доске. Для получения плотного прилегания витки прижимаются к шаблону деревянными или фибровыми клиньями. При укладке 4–го витка, являющегося переходным из первого ряда во второй, следует сделать небольшой изгиб, который в месте перехода изолируется лакотканью (рис. 12–28). Уложив указанным способом 18 витков, следует от бухты отмерить и отрезать проводник еще на 18 витков, конец его соединить с концом намотанного проводника скобочкой и пропаять ее. Место спайки следует изолировать лакотканью и лентой. Пайка обычно производится на стороне П, так как на стороне К неудобно ее уложить вследствие имеющихся переходов. Затем таким же способом укладываются остальные 18 витков. Оставшийся после намотки первой катушки конец лежит на стороне К, с правой стороны шаблона, на тридцать шестом обороте. Этот конец будет служить началом 1–й катушки и должен быть изолирован при выходе из гильзы лакотканью и хлопчатобумажной лентой вполнахлеста. Чтобы намотать 2–ю катушку, необходимо изготовить прокладки из картона и поставить их между гильзами 1–й и 2–й катушек с правой и с левой сторон. Прокладки должны плотно прилегать к намотанной 1–й катушке. Форма прокладок видна на рис. 12–29. Для того чтобы создать необходимый промежуток между лобовыми частями 1–й и 2–й катушек, который должен быть оставлен для изолировки их и для вентиляции, под отогнутую лобовую часть 1–й катушки подкладывается прокладка из полос картона. В прокладке делается вырез для выпуска изолированного конца 1–й катушки, идущего на соединение со 2–й катушкой. Когда прокладки поставлены на место с обеих сторон статора, в гильзы 2–й катушки вставляются те же деревянные шпильки. Если шпильки не вплотную прилегают к поставленным прокладкам, то следует кругом по лобовой части 1–й катушки поставить на прокладки полосы электрокартона такой толщины, чтобы они плотно прилегали к шпилькам. Намотка 2–й катушки производится таким же образом, как и 1–й. После намотки 2–й катушки делают картонные прокладки для создания промежутка между 2–й и 3–й катушками. Прокладки устанавливаются такие же, как и ранее, но только их следует сделать немного длиннее первых, так как вторая катушка после намотки длиннее первой. Намотка 3–й катушки во всем аналогична намотке 1–й. Конец 3–й катушки изолируется по выходе из миканитовой гильзы лакотканью и лентой вполнахлеста по длине, достаточной, чтобы подвести конец под бандаж. Затем концы всех катушек соединяются между собой при помощи скобок, пропаиваются и изолируются, образуя, таким образом, катушечную группу. Изолировка места пайки производится также лакотканью и лентой одним слоем вполнахлеста. После намотки катушечной группы деревянный шаблон вынимается. Выемка шаблона производится параллельно оси статора на себя. Вместе с шаблоном вынимаются также и доски. Шаблон и доски применяются для намотки остальных нижних катушек.

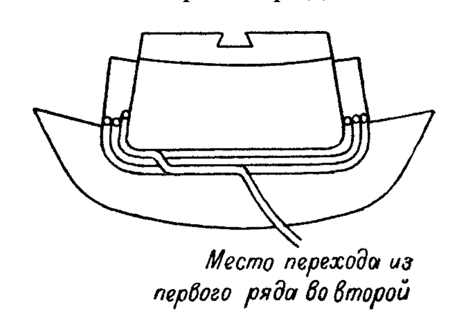


Рис. 12–28. Переход проводника из одного ряда в другой.

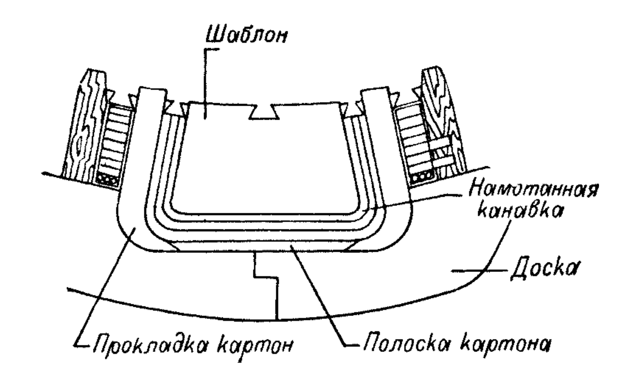


Рис. 12–29. Установка прокладок.

е. Изолировка нижних катушек.

После намотки всех нижних катушек производится их изолировка, причем каждая катушка изолируется отдельно лакотканью вполнахлеста и хлопчатобумажной лентой вполнахлеста. Производится это таким образом: конец ленты закрепляют на гильзе, делая 3–4 оборота на всей длине гильзы, выступающей из паза, а затем обматывают катушку до середины лобовой части. То же самое делают и с другой стороны катушки. Встречные концы ленты на середине катушки перекрывают друг друга. Поверх ленты из лакоткани накладывается хлопчатобумажная лента. Закрепляется лента на гильзе у самой стали, причем под ленту должен попасть и деревянный клин, которым заклинены гильзы. Изолировка лентой ведется также с двух сторон катушки до середины ее лобовой части, где лента закрепляется. Окончив изолировку лентой, между катушками вставляют электрокартонные прокладки ближе к углам (закруглениям), после чего в местах прокладок ставятся бандажи из крученого шнура диаметром 2 мм. Под бандажи необходимо подвести и закрепить выводные концы катушек: один – под правый бандаж второй – под левый. Для лучшего скрепления бандажи смазываются лаком. Изолированные нижние катушки обмотки статора испытываются на витковое и на корпус.

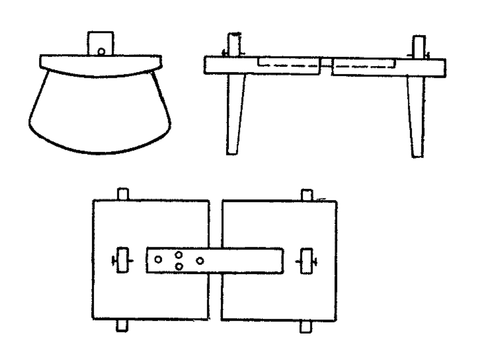


Рис. 12–30. Шаблон для верхних катушек.

ж. Намотка и изолировка верхних катушек.

Перед намоткой верхних катушек следует продуть пазы статора сжатым воздухом; после чего в пазы вставляются гильзы. Для намотки верхних катушек также применяются деревянные шаблоны. Шаблон для верхних катушек показан на рис. 12–30. Поставленный на место шаблон лобовыми частями прилегает к нижним катушкам, а также плотно подгоняется к гильзам первой верхней катушки. Шаблон в рабочем положении закрепляется двумя деревянными упорами так же, как при укреплении шаблона нижних катушек. В гильзы вставляются стальные и деревянные крючки, причем последние располагаются в обратном порядке по сравнению с расположением их при намотке нижних катушек, потому что намотка верхних катушек производится сверху вниз. Расположение проводников в гильзах показано на рис. 12–27, *б*. Процесс протяжки проводника происходит так же, как и для нижних катушек. Укладка проводника в лобовых частях здесь проще, так как проводники укладывают с небольшим изгибом, как это видно из очертания шаблона. При следовании проводника из одного ряда в другой делают переходы, которые изолируют лакотканью. Переходы располагаются по всей лобовой части катушки. После намотки первой катушки выводной ее конец изолируется три раза лентой из лакоткани вполнахлеста и один раз хлопчатобумажной лентой также вполнахлеста (для 3000 *в*). Второй же конец используется для намотки второй катушки. Для этой катушки следует изготовить из картона прокладки и заложить между боками лобовых частей. Между серединами лобовых частей катушек также ставятся временные дистанционные прокладки, которые после намотки вынимают, оставляя место для постоянных прокладок, устанавливаемых впоследствии при наложении бандажей.

После намотки второй катушки на бока ее лобовой части также ставятся картонные прокладки, которые должны быть длиннее первых, уложенных между первой и второй катушками. Все верхние прокладки прямыми частями должны упираться в сталь статора, а закругленными лечь на закругленные лобовые части намотанных катушек. Уложив лобовые части катушек и соединив их в катушечные группы, накладывают на них изоляцию. Верхние катушки изолируются тем же способом, что и нижние. Бандажи на верхних катушечных группах ставятся так же, как и на нижних. Выводные концы катушечных групп должны быть также закреплены под бандажами. После намотки верхние катушечные группы испытываются на витковое и на корпус, а затем статор поступает на соединение катушечных групп.

з. Выполнение обмоток низковольтных машин.

Изготовление гильз для низковольтных машин было рассмотрено выше. Обмотка статоров низковольтных машин чаще всего ведется литцей. Сечение литцы большей частью прямоугольное, и она обычно имеет следующую изоляцию: хлопчатобумажная пряжа в два слоя, один из которых намотан в правую, а другой в левую сторону, а поверх пряжи – хлопчатобумажная оплетка. Это – изоляция марки ПБДО (провод бумажный двойной с оплеткой). Когда статор очищен от посторонних предметов, в пазы для нижних катушек вкладываются изоляционные гильзы, заклиниваемые сверху деревянными клиньями, которые забиваются с двух сторон статора. Дальнейшие операции по намотке катушек аналогичны описанным выше для круглого проводника. Для плотного прилегания к шаблону литца осаживается при помощи фибрового клина, по которому ударяют ручником. Соединение катушек между собой производится посредством скобок, в которые вставляются концы катушек встык, а затем пропаивается. Выводы катушечных групп изолируются одним слоем ленты из лакоткани и хлопчатобумажной лентой вполнахлеста. Между отдельными катушками ставят дистанционные электрокартонные прокладки ближе к местам закруглений лобовых частей, на которые наматываются бандажи из крученого шнура с подводом под них изолированных выводов. После испытания на витковое и на корпус статор поступает на соединение катушечных групп. Обмотка статора из литцы для машин с большим напряжением производится аналогично описанному, только вместо электрокартонных гильз в пазы вставляются микафолиевые.

12–8. Электропайка статорной обмотки фосфористой медью.

Ранее соединения статорной обмотки производились при помощи медных хомутиков с пропайкой их оловянистым припоем. Стремление уменьшить расход олова привело к новому способу соединения обмотки припоем из фосфористой меди. Одновременно достигается экономия листовой меди, так как при этом способе отпадает надобность в скобках (хомутиках). Процесс электропайки фосфористой медью значительно менее трудоемок по сравнению с пайкой оловянистым припоем. Таким образом, новый метод имеет много преимуществ. К его недостаткам следует отнести необходимость иметь специальное оборудование. Пайка фосфористой медью производится следующим образом. Соединяемые концы обмотки накладываются друг на друга, причем между ними прокладывается припой в виде тонкой пластинки. Место соединения сжимается между двумя электродами специальной паяльной головки (см. ниже). Затем пропускается ток, разогревающий место соединения, пластина припоя расплавляется, и все зазоры между соединяемыми концами заполняются растекающимся расплавленным припоем. После этого ток выключается, припой затвердевает и электроды разжимаются. При установленном режиме пайки ток должен быстро нагреть место пайки, что повышает качество соединения без повреждения изоляции и ускоряет процесс.

Различные случаи соединения проводников для пайки, в зависимости от количества параллельных проводников и их расположения, показаны на рис. 12–31. При этом для соединения *а*, *б*, *в*, *г*, *д*, *е* (рис. 12–31) электроды накладываются сверху и снизу, как показано на рис. 12–32, *а*; для соединения *ж*, *з*, *ц*, *к*, *л*, *м* (рис. 12–31) электроды накладываются с боков, как показано на рис. 12–32, *б*. Установка для электропайки фосфористой медью показана на рис. 12–33. Она состоит из стойки 2, на верхнем конце которой шарнирно укреплен кронштейн 2, свободно поворачивающийся вокруг стойки 2. На кронштейне 2 шарнирно закреплен кронштейн 5, на конце которого укреплена поворотная головка 4 с подвешенной паяльной головкой 5.

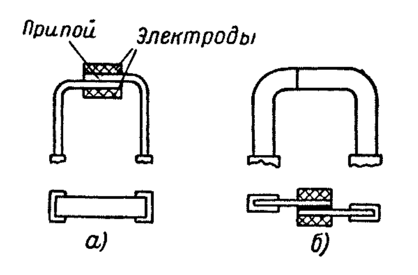


Рис. 12–32. Способы наложения электродов.

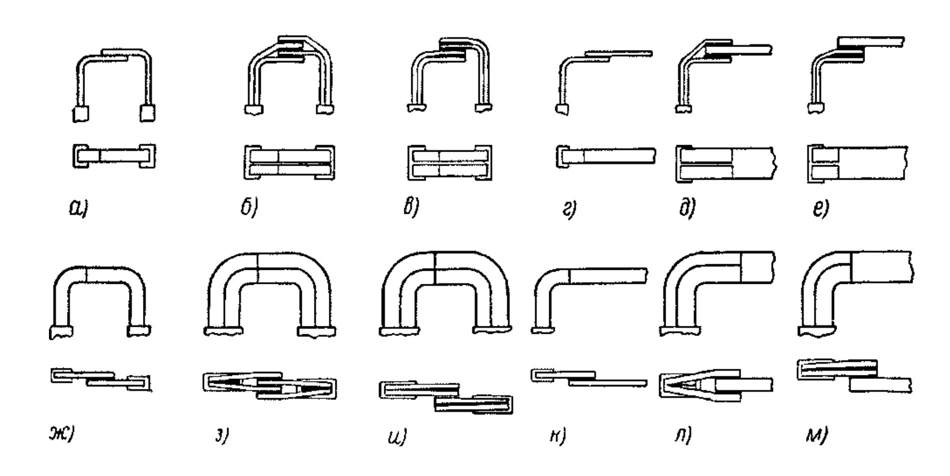


Рис. 42–31. Виды соединений статорной обмотки при электропайке.

Такое устройство позволяет подводить паяльную головку к любому соединению в радиусе действия устройства, что дает возможность производить пайку многих статоров, установленных на рабочей площади, обслуживаемой паяльным приспособлением. Ток к электродам подается от трансформатора 6 однофазного тока. Трансформатор имеет секционированную первичную обмотку, что позволяет получить во вторичной обмотке 12, 15, 18 и 20 *в* при токе от 1500 до 1800 *А*. Включение первичной обмотки трансформатора в сеть производится ножной кнопкой 7 и магнитным пускателем 8. Ножная кнопка – переносная и ставится около рабочего, производящего пайку. Провода, соединяющие вторичную обмотку трансформатора с паяльной головкой, проходят внутри резиновых трубок, по которым пропускается вода для их охлаждения и охлаждения электродов паяльной головки. Вода подается от водопровода 9 и стекает в отвод 10.

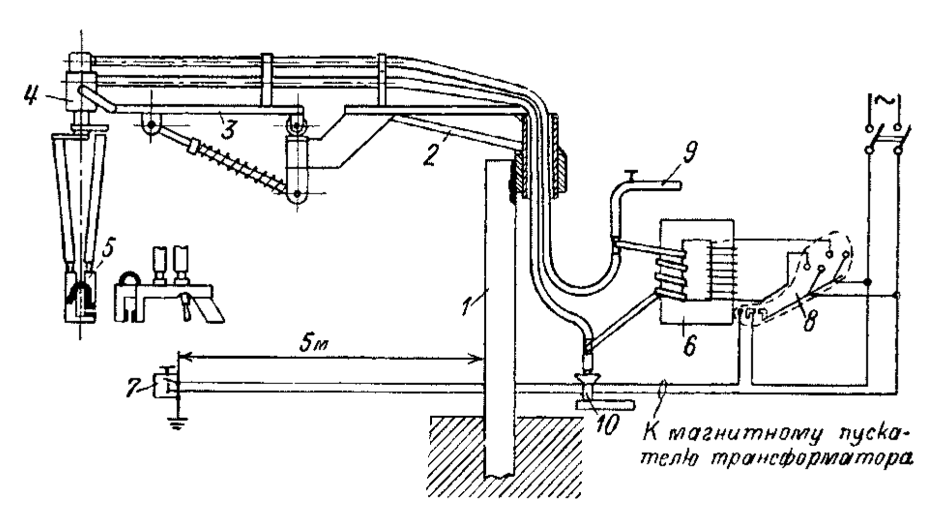


Рис. 12–33. Установка для электропайки статорной обмотки.

Глава тринадцатая бандажировка якорей и роторов.

13–1. Наложение бандажей.

Наложение бандажей производится на специальном бандажировочном станке, по своему устройству напоминающем токарный. Обычно этот станок работает от отдельного электродвигателя. Посредством переключателя ему можно дать вращение в обе стороны. На рис. 13–1 показан бандажировочный станок. Он состоит из планшайбы 1 для зажима конца вала, задней бабки (на рисунке не показано) для укрепления другого конца вала 2, подвижного люнета 3, который служит опорой валу между планшайбой и задней бабкой (люнет может передвигаться вдоль оси станка), деревянного вкладыша 4 люнета, поднимаемого посредством червячной передачи; (вкладыш имеет полукруглое очертание для легкого поворота шейки вала и во время работы смазывается тавотом), и педали 5 для включения и выключения станка. Бандажная проволока подается с бухты, насаженной на барабан, укрепленный на особом приспособлении. Рама приспособления крепится на четырех опорах, которые могут передвигаться по салазкам, укрепленным в полу, параллельно оси бандажировочного станка. В верхней части рама имеет длину 500–600 мм. и ширину между угольниками 100 мм. По угольникам поверху двигаются три ролика 6, 7 и 8, через которые проходит проволока. Со стороны салазок (с задней стороны рамы) укреплен на кронштейнах вал 10, на котором вращается разборный барабан 9 с навитой на него проволокой. На рисунке видно также приспособление с грузом 14 для натяжения проволоки, оно скользит по проволоке своим роликом 13 и висит на нем. На конце вала имеется шкив 11, который охватывается двумя полухомутами, с одной стороны укрепленными на раме, а с другой – стягиваемыми винтом с барашком 12. Посредством полухомутов можно стягивать шкив с любой силой и тем самым препятствовать свободному вращению барабана. Проволока, сходящая с барабана, огибает сперва вращающийся ролик 8, а затем проходит под ролик 13, на котором висит груз 14, и поступает на ролики 7 и 6, а с последнего идет на якорь, на котором и закрепляется. Величина груза определяется как произведение допускаемого напряжения для проволоки R_z на площадь ее поперечного сечения (см. гл. 4). Для наложения бандажа якорь устанавливается на бандажировочный станок. Задний конец вала зажимается в планшайбе, как указано на рис. 13–1. К шейке вала со стороны коллектора подводится деревянное основание люнета и поднимается до соприкосновения с шейкой вала. Под каждый кулачок планшайбы подкладывают подушку из плоской красной меди, чтобы не повредить конца вала при его зажатии. Вал зажимается кулачками в планшайбе и центром задней бабки, после чего установка якоря выверяется. Станок включают на тихий ход и с помощью ручника и деревянного или фибрового клина выравнивают лобовую часть обмотки на якоре. Затем на окружность стали якоря накладывают вручную первый оборот проволоки и закрепляют его на стали. Это может быть сделано двумя способами. При первом способе в один из вентиляционных каналов между двумя пакетами стали якоря вбивается деревянный клин, который выступает над сталью якоря на 20–40 мм. На выступающий конец клина надевается конец проволоки, свернутый петлей. При втором способе закрепление производится так: по окружности стали вручную накладывается один оборот проволоки, которая скрепляется петлей путем скручивания ее конца.

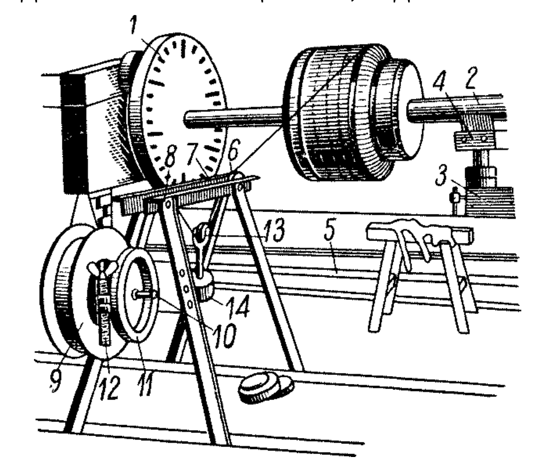


Рис. 13–1. Установка для бандажировки.

Так как этот виток проволоки наложен на сталь якоря, т. е. далеко от того места, где должен стоять бандаж, то делают 2–3 оборота вразбег с таким расчетом, чтобы последний оборот пришелся на том месте, где должен начинаться бандаж. Обычно бандажи ставят на лобовой части против обмоткодержателей, отступая на 15–30 мм. от внутреннего края петушков, а на задней стороне – на таком же расстоянии от головок. Для бандажей применяется главным образом стальная проволока. Но бандажи некоторых якорей выполняются из немагнитной стальной, а иногда и из бронзовой проволоки. В многослойных бандажах во избежание влияния нагрева между его слоями ставятся прокладки из асбестового полотна. Наложение бандажей обычно производится в направлении от стали якоря к краю лобовых частей. Не надо упускать из виду, что первые витки проволоки с необходимым натяжением уложить нельзя и что только последующие витки имеют нормальное натяжение. Под накладываемую проволоку подкладывается изоляция, которая должна выступать за пределы бандажа в обе стороны не меньше чем на 5 мм. т. е. должен быть шире накладываемого бандажа. Изоляция подкладывается либо из полос одного электрокартона, либо смешанная – из миканита и электрокартона. Поверх изоляции под проволоку подкладывают скобы (замки) для укрепления бандажа с таким расчетом, чтобы они были расположены равномерно по всей окружности на равном расстоянии друг от друга. По мере наложения витков бандажной проволоки, они пропаиваются сначала только около замков для лучшего закрепления. При наложении проволоки следят за тем, чтобы между отдельными витками не было промежутков. Для этого наматываемые витки проволоки подбивают друг к другу тупым бородком, легко постукивая по нему ручником. Также следят, чтобы натяжение проволоки не ослабевало. Как только наложено необходимое количество витков проволоки, бандаж у начала и конца пропаивают оловом, обе крайние замочные скобки загибают и пропаивают, после чего проволока у обоих концов отрезается. Затем бандаж пропаивают по всей окружности, причем для лучшей пропайки его предварительно промазывают парафином. Попутно с пропайкой проволоки, все замочные скобы подгибаются и также пропаиваются. Пропайка должна быть тщательная, без наплывов припоя; они удаляются горячим паяльником или спиливаются пилой, что следует производить осторожно, чтобы не повредить проволоки. Диаметр окружности налагаемого бандажа не должен быть больше диаметра стали, т. е. бандаж не должен выступать за пределы стали якоря.

13–2. Примеры выполнения бандажей.

Приведем несколько примеров выполнения различных бандажей. На рис. 4–22 был показан якорь с четырьмя бандажами. Каждый из них выполняется из стальной луженой проволоки диаметром 0,5 мм. Под ним на лобовые части накладывается полоска электрокартона толщиной 0,5 мм. и шириной на 10 мм. больше ширины бандажа. По окружности каждого бандажа расположено по четыре бандажные скобы, нарезанные из луженой белой жести толщиной 0,2–0,3 мм. шириной 30 мм. и длиной на 10 мм. более ширины бандажа – по 5 мм. на односторонний загиб. На стали якоря бандажи выполняются следующим образом: по дну выточек в якоре прокладывается изоляция из электрокартонной полоски, имеющей ширину выточки и толщину 0,3 мм. а поверх нее накладывается бандажная проволока. Ширина бандажа обусловливается шириной выточки. Здесь замочные скобы делаются шириной на 2 мм. менее ширины верхней части зубца стали и такой длины, чтобы на загиб с обеих сторон оставалось по 3–4 мм. Замки располагаются так, чтобы они находились на стали якоря (на зубцах), но ни в коем случае не на обмотке. При неправильном наложении замков можно повредить изоляцию пазовой части. Наложенные и запаянные бандажи в выточках не должны быть выше стали якоря. На рис. 11–13 показаны бандажи якоря, выполненные из бронзовой луженой проволоки в два слоя. Во избежание сильных нагревов бандажа между слоями прокладывается асбестовое полотно по всей окружности.

На каждом слое бандажа расположены по всей окружности четыре замочные скобы, нарезанные из луженой красной меди толщиной 0,5 мм., шириной 20 мм. и длиной на 10 мм. шире бандажа. Как и в предыдущем случае, под бандажи на лобовую часть обмотки накладывается изоляция, состоящая из гибкого миканита (снизу) толщиной 0,5 мм. и электрокартона толщиной 0,5 мм. наложенного сверху. Изоляция должна быть шире накладываемого бандажа на 10 мм. Полосы миканита и электрокартона накладываются встык со смещением стыков. Бандажные скобы накладываются на электрокартонную изоляцию. Каждый слой бандажа при наложении пропаивается самостоятельно. Бандажи на якорях быстроходных машин, обмотка которых подвержена действию больших центробежных усилий, выполняются несколькими отдельными рядами. На рис. 13–2 показан якорь с такими бандажами. На лобовых частях обмотки с передней стороны накладываются три бандажа: один – по нижнему ряду секций обмотки и два – по верхнему ряду. На задней стороне накладывают четыре бандажа: один – на уравнительные соединения, второй – по нижнему ряду секций обмотки и остальные два – по верхнему ряду. Бандажи для обеих сторон выполняются из бронзовой проволоки. Число слоев бандажей следующее: бандаж на уравнительных соединениях имеет два слоя, бандажи на нижних секциях – по три слоя, а на верхних – по четыре слоя. Схемы бандажей показаны на рис. 13–3, 13–4 и 13–5.

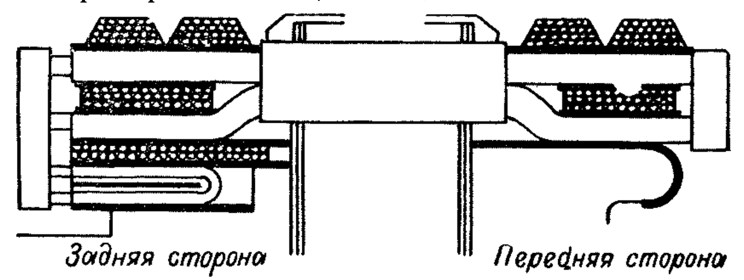


Рис. 13–2. Бандажи на обмотке.

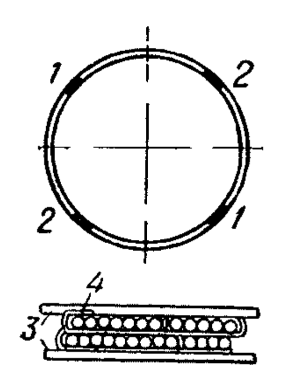


Рис. 13–3. Схема бандажа на уравнителях.
1 – замок;
2 – бандажная скоба;
3 – миканит;
4 – асбестовое полотно.

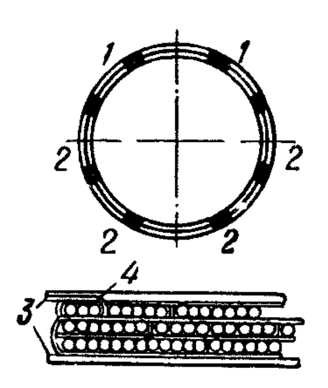


Рис. 13–4. Схема бандажа на нижних полусекциях.
1 – замок;
2 – бандажная скоба;
3 – миканит;
4 – асбестовое полотно.

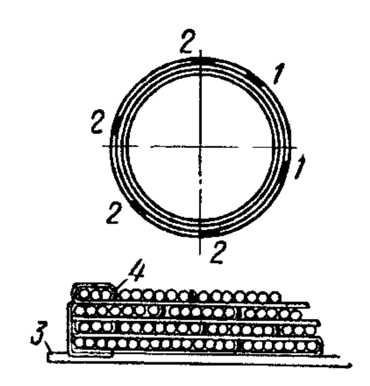


Рис. 13–5. Схема бандажа на верхних полусекциях.
1 – замок,
2 – бандажная скоба;
3 – миканит;
4 – асбестовое полотно.

На этих рисунках: 1–замок; 2–бандажная скоба; 3 –миканит; 4– асбестовое полотно. Наложение бандажа на уравнители производится в направлении от концов уравнительных соединений к стали якоря, в противоположность обычному выполнению. Этим способом достигается лучшее прижатие уравнителей к обмоткодержателю. Снимая временные бандажи, наложенные на уравнительные соединения при укладке, на их место накладывают полосу гибкого миканита толщиной 1,5 мм. Концы полос накладываются внахлестку, причем в месте соединения края миканита должны быть срезаны "на нет", чтобы не получилось утолщения.

Поверх миканита прокладывают две замочные скобы для начала и конца проволоки и две бандажные скобы–ограничители (между первыми двумя). Расположение скоб по окружности бандажа показано схематично на рис. 13–3. Конец бандажной проволоки закрепляют на уравнительных соединениях петлей и наматывают три–четыре дополнительных витка, которые будут сняты после наложения бандажа. Дополнительные витки пропаивают и после этого приступают к наложению нормального бандажа.

При намотке бандажа каждые 10 витков проволоки изолируются друг от друга асбестовым полотном во избежание больших нагревов при работе машины. Намотав первый слой бандажа, его пропаивают и закрепляют первый замок. После этого снимают дополнительные витки. Поверх пропаянного первого слоя бандажа накладывается второй слой, в котором также каждые 10 витков проволоки изолируются друг от друга асбестовым полотном, а верхний слой изолируют от нижнего путем наложения асбестового полотна по окружности всего первого слоя. Наложение обоих слоев бандажа производится одной проволокой, т. е. после наложения нижнего слоя проволока не отрезается, и наложение верхнего слоя ведется от стали к концам (в обратную сторону). Наложив верхний слой, все замочные скобы загибают, весь бандаж пропаивают оловом вместе со скобами, зачищают от острых углов и наплыва олова и якорь передают для дальнейших операций. Наложение бандажа по нижнему ряду секций выполняется одинаково, как с передней, так и с задней сторон якоря. По всей окружности на лобовую часть секций накладывается полоса гибкого миканита толщиной 1,5 мм. и шириной на 10 мм. больше ширины бандажа. Бандаж выполняется из трех слоев проволоки, как показано на рис. 13–4. Здесь также десять витков проволоки каждого слоя изолированы друг от друга асбестовым полотном. На этом же рисунке показана схема расположения двух бандажных замков (у начала и конца проволоки) и бандажных скоб–ограничителей; каждый слой имеет по две ограничительные скобы. Замочные скобы и ограничители выполняются из красной луженой меди толщиной 0,5 мм. и шириной 10–15 мм. Проволока при намотке закрепляется за деревянный клин, вбиваемый в один из пазов якоря. Бандаж накладывается по направлению от стали якоря к концу лобовых частей. Все три слоя бандажа выполняются одной проволокой, без отрезания ее после наложения каждого слоя. Операции по наложению бандажа (запайка, загиб скоб) аналогичны описанным выше. По окончании бандажировки производится изолирование бандажа и вкладка обмотки верхнего слоя. Выполнение бандажа по верхнему ряду секций одинаково с обеих сторон якоря. В этом случае бандаж состоит из двух независимых частей. Каждая часть выполнена в 4 слоя, изолированных друг от друга асбестовым полотном и отдельно пропаянных. На каждой паре слоев установлено по два замка и по шесть ограничительных скоб, как показано на рис. 13–5. На лобовых частях под бандаж по всей окружности прокладывается изоляция из гибкого миканита такой ширины, чтобы она покрывала весь вылет лобовой части обмотки от хомутиков на задней стороне якоря и до петушков – на передней. Процесс наложения бандажей аналогичен описанным выше. Первым выполняется бандаж, лежащий ближе к стали якоря. Наложение бандажа по верхнему слою ведется после запайки и обрезки концов обмотки, затем якорь поступает на испытание на корпус и витковое и далее на просушку и пропитку лаками. У якорей, имеющих соединение обмотки с коллектором при помощи хомутиков с хвостиками, обычно ставится по два однослойных бандажа: один – на лобовой части и второй (малый) – на хомутиках (см. рис. 4–23). По окружности лобовой части на изоляцию под бандаж, которая состоит из миканита толщиной 0,5 мм. и электрокартона той же толщины, накладываются две замочные скобы и десять ограничительных скоб. Большой бандаж из стальной проволоки ставят, отступая на 20–25 мм. от внутреннего края петушка со стороны коллектора и на такое же расстояние от хомутика с задней стороны якоря. Установив большой бандаж, загибают все скобы, кроме четырех, предназначенных для удержания малого бандажа.

После этого приступают к наложению бандажей на хомутики. Перед тем как ставить бандажи на хомутики, с обеих сторон якоря, для лучшей изоляции хомутиков от бандажа и друг от друга, на каждый первый, третий, пятый, седьмой и т. д. хомутики надевают колпачки из электрокартона. По окружности хомутиков и петушков накладывают изоляцию из полос гибкого миканита толщиной 0,20 мм. и электрокартона толщиной 0,5 мм. шириной на 5 мм. более хомутика. На изоляцию накладываются четыре скобы от большого бандажа и еще четыре скобы, после чего накладывают бандаж на хомутики. Материалом для замочных скоб служит белая луженая жесть. Наложение бандажей ведется аналогично описанному выше. Что касается бандажировки роторов, то производственные процессы ее аналогичны бандажировке якорей. Бандажировку крупных роторов и якорей обычно ведут так, как показано на рис. 13–6. Ротор вращают от электродвигателя при помощи червячной передачи. На валу червячной передачи имеется шкив, от которого перекидывается ремень на сталь ротора. Натяжение проволоки осуществляется при помощи устройства, описанного нами выше. Якорь или ротор устанавливается на двух деревянных подставках.

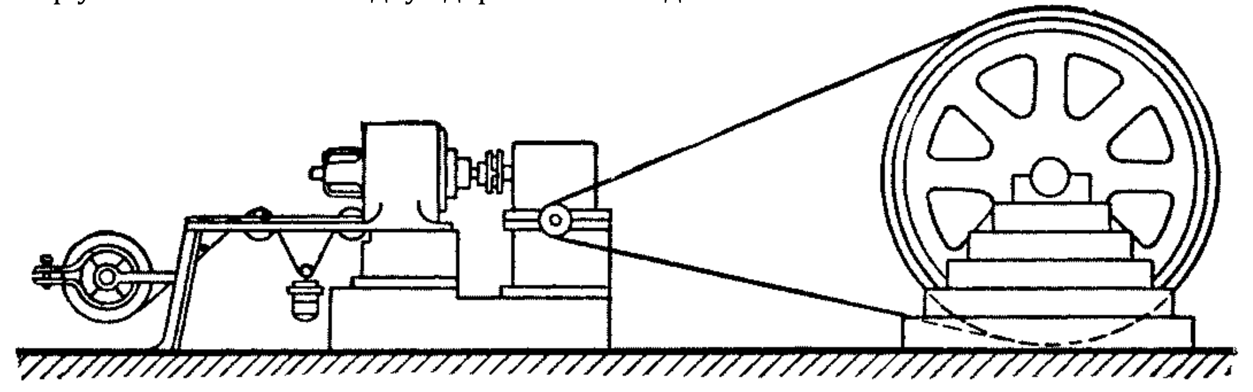


Рис. 13–6. Установка для бандажировки.

Глава четырнадцатая. Сушка и пропитка обмоток.

14–1. Общие сведения.

Некоторые изоляционные материалы, например хлопчатобумажные ленты, электрокартон и другие, имеют существенный недостаток – способность впитывать в себя влагу из окружающей среды (воздуха). Такое свойство изоляционных материалов называется гигроскопичностью. Влага чрезвычайно понижает электрическую прочность изоляции и величину ее сопротивления. Для удаления влаги, уже имеющейся, и для предотвращения возможности попадания ее из окружающего воздуха изоляция подвергается пропитке и сушке. Процесс этот сводится к следующему:

1) обмотанный якорь (статор, ротор) подвергается предварительной сушке в печи для удаления влаги из изоляции обмотки;
2) просушенная изоляция пропитывается изолирующим составом;
3) пропитанная изоляция вторично просушивается.

Пропитывая и просушивая изоляцию, достигают следующего:

1) удаляют влагу из изоляции и заполняют поры и пустоты в ней хорошо изолирующим составом;
2) при сушке после пропитки удаляется растворитель, получается влагонепроницаемая защитная пленка;
3) через пропитанную изоляцию происходит лучшая отдача тепла в окружающий воздух.

14–2. Оборудование для сушки и пропитки.

Сушильные печи бывают двух видов. Печь для крупных якорей роторов и статоров представляет собой стальную двухстенную камеру, простенки которой для изоляции заполнены асбестом. Внутри с трех сторон расположены змеевики, обогреваемые паром. В верхней части печи имеется труба с заслонкой для удаления влажного воздуха и испарения, отсасываемых вентилятором из изоляции, приводимым в действие электродвигателем. Передняя стенка печи поднимается краном, и крупные якоря, установленные на вагонетки, вдвигаются в печь. Для контроля просушки и осмотра в передней стенке печи имеется дверь. Второй вид печи представлен на рис. 14–1; она предназначена для просушки небольших якорей и катушек и представляет собой двухстенный шкаф высотой 2 м, шириной 1 м и длиной 3м. Стенки шкафа 3 изолированы асбестом. Внутри шкафа, на дне его, расположены змеевики 7, которые обогреваются паром. Загрузка шкафа производится сверху; для этого вверху шкафа имеется крышка 5, плотно прижимающаяся двумя барашками 4 для создания герметичности. Для удаления влаги имеется выходная труба 2, через которую производится отсасывание паров. Крышка имеет противовес 7; в крышку вставляется для контроля температуры термометр 6. Отметим, что существуют печи и с электронагревом.

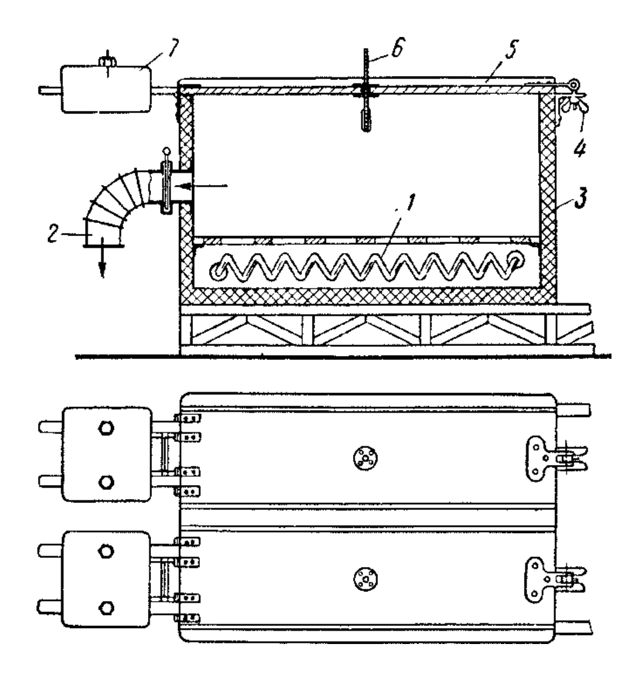


Рис. 14–1. Шкаф для просушки.

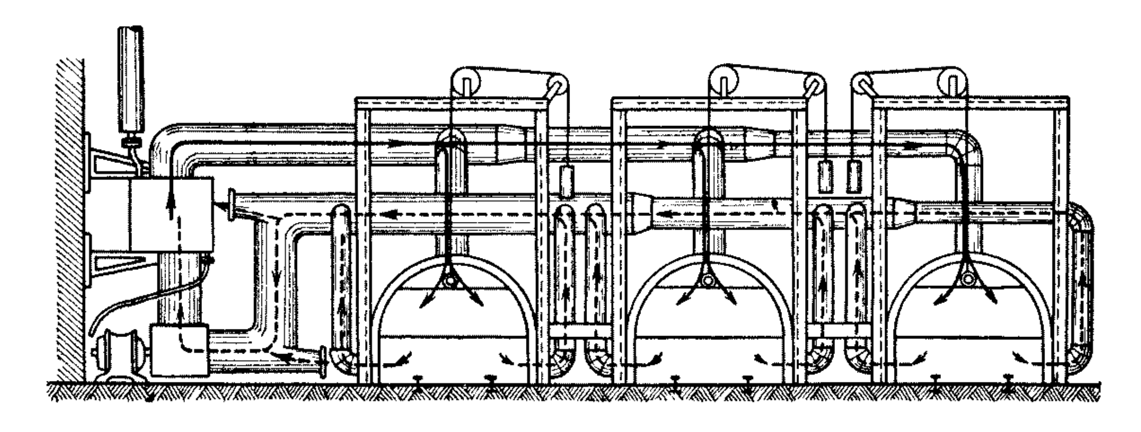


Рис. 14–2. Сушильная печь.

Сушка может производиться и в тоннельных печах (рис. 14–2) горячим воздухом, подогреваемым в парокалорифере, включенном в паровую сеть.

Температура воздуха в печи 100–120°С. Нагретый в калориферах воздух эксгаустером подается в печь сверху. Внизу, по бокам печи, расположены вытяжные трубы, возвращающие отработанный воздух в калорифер. На рис. 14–2 сплошной линией со стрелками указан путь сухого воздуха, а пунктиром – отработанного. В настоящее время широко применяются электропечи с терморегулятором.

14–3. Сушка обмоток якорей и роторов.

После испытаний ротора или якоря на корпус он поступает в печь и там просушивается при температуре 100–120°С в течение 8–10 ч. (в зависимости от габаритов). По истечении 8 ч. ротор или якорь вытаскивают из печи и для определения степени просушки его обмотки измеряют сопротивление ее изоляции. Измерение производится мегомметром. Сопротивление изоляции обмотки после просушки в горячем состоянии при температуре ротора 80 – 100°С должно быть в пределах 2 – 5 *Мом*. Если измерение покажет меньшую величину, обмотку подвергают дополнительной сушке. Если сопротивление изоляции достаточно, то обмотка подвергается пропитке.

14–4. Сушка обмоток статоров.

Просушка в печи статора производится в течение 4–8 ч (в зависимости от конструкции изоляции обмоток). После просушки сопротивление обмотки статоров также измеряется мегомметром. Сопротивление хорошо просушенного статора должно быть в пределах 10–20 Мом.

14–5. Сушка обмоток инфракрасными лучами.

В настоящее время находит применение способ сушки инфракрасными лучами, которые, как известно, являются лучами невидимой части спектра. Они излучаются любым нагретым телом. С помощью этих лучей тепло передается в виде лучистой энергии от источника тепла к объекту сушки. В качестве источника инфракрасных лучей применяются специальные электролампы накаливания. Эти лампы отличаются от обычных осветительных меньшей отдачей света и большей отдачей инфракрасных (тепловых) лучей. Для сушки изготовляются лампы, в которых на внутренней поверхности стекла нанесен отражательный слой, что способствует большей отдаче и равномерному распределению тепла. Установка для сушки якорей, осуществленная на одном из заводов, представляет камеру (цилиндр) из белой жести, по всей поверхности которой установлены лампы. Торцовые стенки сделаны в виде дверей. Сверху имеется вытяжная труба для удаления паров влаги. Якоря укладываются на подвижную тележку, на которой они загружаются в печь. Температура в камере регулируется количеством включаемых ламп. Сушка в таких печах может производиться значительно быстрее, чем в обычных и с меньшим расходом энергии.

14–6. Пропитка обмоток якорей и роторов.

Обмотка ротора (якоря), если он предназначен для работы в сухом помещении, пропитывается два раза битумно–масляным лаком №447 печной сушки. Просушенный ротор или якорь погружается в бак с пропитывающим составом и выдерживается в нем 10–15 мин. Затем его извлекают из бака, дают стечь излишку лака, укладывают на тележку и направляют в печь для просушки. Пропитываемый ротор или якорь подвергается просушке до тех пор, пока сопротивление изоляции его обмотки, измеряемое в горячем состоянии при температуре 90°С, будет не менее 5 *Мом*. После просушки ротор (якорь) в горячем состоянии весь покрывается быстросохнущим лаком воздушной сушки – битумно–масляным №462п.

Ротору дают остыть, а лаку – просохнуть, после чего измеряют в холодном состоянии сопротивление изоляции обмотки, которое должно быть не менее 60–80 *Мом*. Для машин, работающих в сырых помещениях, пропитка обмотки делается более усиленной. В этом случае обмотку пропитывают в лаке печной сушки три раза и после каждого раза просушивают в печи при температуре 100–120°С. Сушку после последней пропитки производят в зависимости от сопротивления изоляции, которое при температуре 90–100°С должно быть не менее 15 *Мом*. После третьей пропитки и просушки якорь в горячем состоянии покрывается подряд два раза защитным покровным лаком №462п или серой эмалью №83. В холодном состоянии измеряют сопротивление изоляции обмотки, которое при измерении мегомметром должно быть очень большим (мегомметр должен показывать бесконечность). Просушка и пропитка катушек параллельных обмоток возбуждения производится методом погружения. Двойная пропитка с сушкой производится при температуре 100–120°С, а двойное покрытие осуществляется покровным лаком №462п. Катушки влагостойкого исполнения изготовляются из предварительно пропитанного обмоточного провода; затем готовая катушка подвергается компаундировке и два раза покрывается серой эмалью №83.

Режимы пропитки:
а) двукратная пропитка

	1–я	2–я
предварительная сушка при t = 110 – 120°	7 ч.	–
пропитка	30 мин.	35 мин.
сушка после пропитки при t = 100 – 120°	10 ч.	14 ч.

а) двукратная пропитка

	1–я	2–я	3–я
предварительная сушка при t = 110 – 120°	7 ч.	–	–
пропитка	30 мин	12 мин	6 мин
сушка после пропитки при t = 100 – 120°	12 ч.	14 ч.	14 ч.

После сушки якорь покрывается серой изоляционной эмалью воздушной сушки или покровным битумно–масляным лаком №462п. Для некоторых якорей производят пятикратную пропитку с последующим покрытием серой эмалью печной сушки. Режим пятикратной пропитки:

	1–я	2–я	3–я	4–я	5–я
предварительная сушка при t = 110 – 120°	10 ч.	–	–	–	–
пропитка	30 – 40 мин.	30 – 40 мин.	30 – 40 мин.	10 мин.	10 мин.
сушка после пропитки при t = 100-120°	10 ч.	10 ч.	8 ч.	8 ч.	8 ч.

Конец сушки определяется по сопротивлению изоляции якоря, которое при температуре якоря 70–75°С должно быть не менее 6 Мом. Просушенный якорь подвергается двукратному покрытию серой эмалью печной сушки. Если изоляция якоря изготовлена на кремнийорганических веществах, тепловая обработка после пропитки в кремнийорганическом лаке марки ЭФЗ–БСУ ведется при повышенной температуре 180–200°С. В качестве поверхностных защитных покрытий применяют кремнийорганические эмали печной сушки. Широко применяемые для пропитки обмоток электрических машин битумно–масляные лаки обладают хорошими электроизоляционными свойствами. Однако они обладают и рядом существенных недостатков; низкой термопластичностью, не высыхаемостью (в толстом слое) без доступа воздуха и плохой цементирующей способностью.

Научно–исследовательскими институтами электротехнической промышленности проведена большая работа по внедрению водоэмульсионных и алкидно–фенольных лаков взамен битумно–масляных. Эти лаки высыхают в толстом слое, хорошо цементируют изоляцию, более нагревостойки. Разработанные водоэмульсионные лаки № 321–Т и № 321–В представляют собой молочно–белую желтоватую жидкость, легко разбавляемую водой. В определенных условиях масло и вода могут образовывать эмульсии, характеризующиеся тем, что одна из жидкостей диспергирована в виде мельчайших капелек в другой. Технология пропитки не отличается от обычной. Обмотки электрических машин перед пропиткой не сушат. Пожаро– и взрывобезопасность лака позволяет осуществлять конвейерные пропиточные установки, включенные в общий производственный поток. Лак нетоксичен. Применение лака 321–Т рекомендуется для пропитки узлов электрических машин и аппаратов из проводов ПЭВ, ПЭЛБО, ПБД и др., при этом повышается качество пропитанных обмоток, увеличивается надежность витковой изоляции. Другим пропиточным составом, дающим хорошие результаты, является фенолоалкидный термореактивный лак АРБ–1 (ФЛ–98). Этот состав состоит из алкиднокасторового лака АК и бутанольного раствора смолы РБ в соотношении 70 : 30 в пересчете на основы лаков. Лак ФЛ–98 обладает высокой пропиточной и цементирующей способностью, при достаточно большой концентрации лака (50%). Он хорошо просыхает внутри слоев без доступа воздуха, отвердевает в толстом слое, обеспечивает полную монолитность изоляции. Сравнительные опыты с применением лака ФЛ–98 и битумно–масляного № 447 показали, что обмотки, пропитанные в лаке АРБ–1 (ФЛ–98) 3 раза, имеют одинаковые свойства с обмотками, пропитанными 5 раз в лаке № 447, двукратная пропитка якорей в лаке АРБ–1 также равноценна трехкратной пропитке в лаке № 447. Лак АРБ–1 может быть рекомендован для пропитки обмоток электрических машин, изоляцией класса А и В. Применение его дает возможность сократить на одну–две пропитки общее количество пропиток при сохранении качества изоляции. Технология пропитки обычная. Предварительная сушка производится при 100–120°С, последующая (после пропитки) – при 130–140°С.

Раздел четвертый. Испытания обмоток.
Глава пятнадцатая
Проверка и испытание обмоток

15–1. Общие сведения.

Каждый якорь в процессе производства на всех электромеханических заводах подвергается проверке на правильность его соединения по схеме и на электрическую прочность изоляции обмотки по отношению к корпусу и между витками. Наматываемый якорь трижды подвергается испытанию на корпусное соединение: первый раз – после вкладки обмотки в пазы, второй раз – после запайки концов обмотки и наложения бандажей и третий раз – после пропитки, просушки и обточки коллектора. Величина испытательного напряжения в первых двух испытаниях берется 3000 *в* для всех якорей мощностью свыше 3 кВт с рабочим напряжением машины от 110 *в* до 500 *в*. При третьем испытании величина испытательного напряжения понижается до 2500 *в*. Продолжительность испытания – 1 мин. В процессе выполнения обмотки якоря производится проверка на правильность соединения обмотки с коллектором и запайки обмотки, что также выполняется три раза. Первый раз – после укладки концов обмотки в шлицы коллекторных пластин или петушков. Эта проверка производится контрольной лампой. Второй раз – после припайки обмотки к коллектору. Эта проверка состоит в испытании на витковое и на правильность пайки и соединения. Третья (окончательная) проверка – после окончательной просушки обмотки якоря и проточки коллектора.

Проверка обмоток на электрическую прочность (на корпус) изоляции производится переменным током высокого напряжения нормальной частоты 50 *гц*. Испытание обмоток на витковое производится переменным током нормальной частоты 50 *гц* и переменным током повышенной частоты порядка 1000 *гц*, а также и постоянным током напряжением 110 и 220 *в*. Для проверки и испытания обмоток на электрическую прочность применяются высоковольтные трансформаторы, с помощью которых можно получить любые испытательные напряжения. В цепь трансформатора включаются измерительные приборы – вольтметр и амперметр, а для плавной регулировки напряжения применяются реостаты или потенциальные регуляторы. Для проверки обмотки якоря на витковое применяются электромагниты, которые питаются переменным током нормальной частоты. Проверку постоянным током производят с помощью точных измерительных приборов.

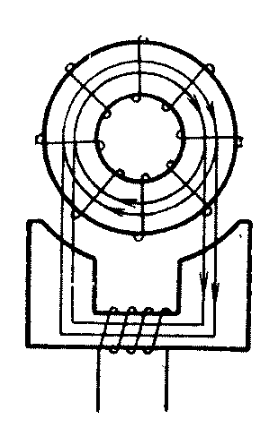


Рис. 15–1. Схема испытательного магнита.

15–2. Дефекты обмотки якоря и причины их появления.

Корпусные соединения. Повреждение изоляции обмотки, ее соединение с корпусом происходят по следующим причинам:

1. Слабость изоляции – неплотная намотка при изолировке, сдвиги слюды, морщинистость, недостаточная просушка, неправильный нахлест при изолировке.

2. Механические повреждения – присутствие в пазах металлических стружек, опилок; острые углы стали и заусенцы; повреждение изоляции в процессе вкладки ее, при рихтовке и осадке обмотки в пазы (небрежное отношение к работе, неаккуратная транспортировка).

Витковые соединения. Эти соединения происходят по следующим причинам:

1. Повреждения изоляции витков при рихтовке и осадке обмотки.

2. Перемещения отдельных витков во время опрессовки пазовой части. В таких случаях проводники продавливают изоляцию соседних проводников, создавая тем самым соединение между витками.

3. Небрежная запайка концов обмотки с хомутиками или коллекторными пластинами. Припой, попадая между пластинами коллектора или между отдельными концами секции, соединяет их между собой. Этому часто способствует присутствие в припое посторонних составных частей, например сурьмы, которая делает сплав очень жидким и подвижным в расплавленном состоянии.

4. Появление "мостиков" (затяжек) от пластины к пластине на коллекторе при обточке его тупым резцом или при большой подаче. Мостики часто появляются, когда миканит (изоляция между пластинами) бывает слабо спрессован. Иногда мостики заметны простым глазом при поверхностном осмотре и устраняются пропиливанием специальной ножовочной пилкой. Эта операция называется продорожкой коллектора.

5. Прочие механические повреждения изоляции проводников при транспортировке, а также при сборке. Следует указать, что витковое соединение может получиться после пробоя изоляции на корпус.

6. Обрывы обмотки происходят вследствие плохой пайки концов обмотки с пластинами коллектора или с петушками.

7. Перепутанность соединений концов обмотки с коллекторными пластинами. Этот дефект вызывается наличием крестов одинарных, двойных и т. д., а также встречных соединений.

15–3. Испытания на витковые соединения обмотки якоря.

Для испытания обмоток якорей на витковые соединения в производстве широко применяются испытательные электромагниты. На рис. 15–1 показана схема такого электромагнита, сердечник которого состоит из двух полюсов. На сердечнике имеется обмотка, состоящая из большого числа витков. Электромагниты изготовляют так, чтобы их можно было применять для испытания якорей различных габаритов. С этой целью они делаются раздвижными. На рис. 15–2 показан испытательный электромагнит, между полюсами которого находится испытуемый якорь. Концами вала он опирается на две подставки, которые могут передвигаться горизонтально и вертикально. Полюсы электромагнита устроены так, чтобы охватить обмотку якоря по шагу и чтобы зазор между ними и сталью якоря был не более 5–7 мм. Обмотка электромагнита питается переменным током нормальной частоты 50 (*гц*), а также повышенной частоты (500–1000 *гц*), который создает переменное магнитное поле, идущее от полюсов магнита в сталь якоря и пересекающее его обмотку. Если же в обмотке имеются витковые соединения, т. е. замыкания витков в секции или между коллекторными пластинами, то в витках, замкнутых накоротко, потечет ток большой силы и вызовет нагрев этой секции. Витковые соединения можно обнаружить следующим образом. При витковом соединении магнитный поток создается в зубцах якоря, между которыми имеется дефектная секция 1. Если к этим зубцам приложить стальную пластинку 2, как показано на рис. 15–3, то она намагнитится и притянется к зубцам якоря. Для определения витковых соединений вместо стальной пластинки иногда пользуются телефоном. Концы телефона 1 (рис. 15–4) подключаются к обмотке 2 небольшого сердечника 5, в котором при витковом соединении возникает поток, вызывающий гудение в телефоне. Якорь при испытании вращается и подходит к сердечнику 3 то одним, то другим своим пазом. Если в якоре нет виткового соединения, то в телефонной трубке слышится равномерное гудение. Если же в каком–либо пазу якоря имеется секция с короткозамкнутым витком 4 и якорь этим пазом подойдет под электромагнит, то в телефонной трубке послышится резкий звук. По этому звуку и устанавливают витковое соединение.

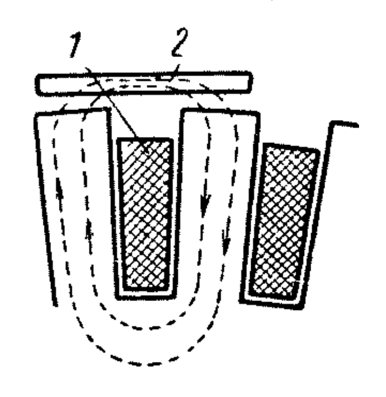


Рис. 15–3. Определение замкнутых витков.

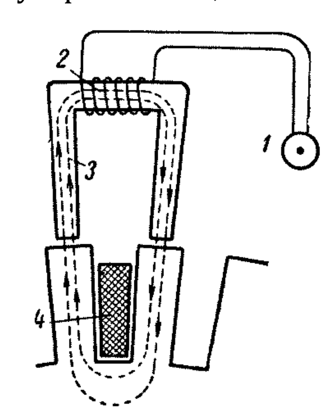
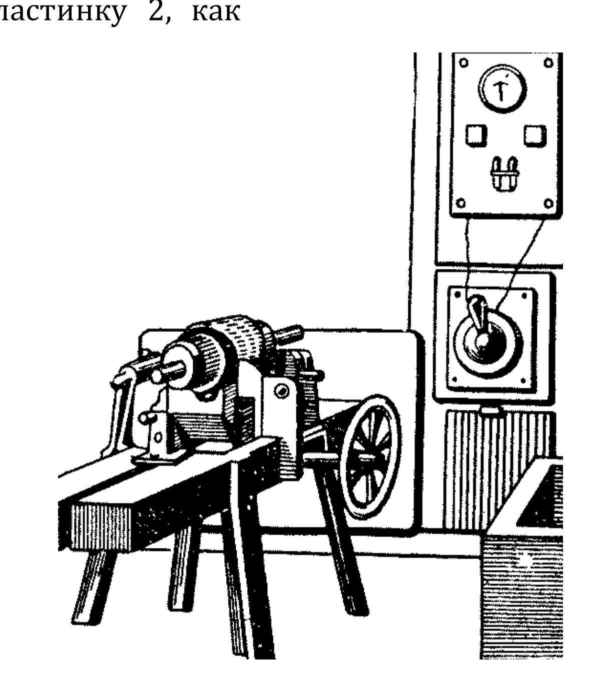


Рис. 15–4. Сердечник с катушкой и телефоном.


Рис. 15–2. Вид испытательного магнита.

Метод испытания и проверки посредством электромагнита имеет свои недостатки. Например, его можно применять лишь для якорей небольших габаритов. Пользуясь им, нельзя определить неправильность соединения обмотки якоря с коллектором, плохой контакт между концами обмотки и коллекторными пластинами, петушками и т. д.

В настоящее время на заводе "Электросила", по предложению инж. А. Б. Блушинского, разработаны и внедрены в производство приборы ИВЗ (индикаторы витковых замыканий). Тип ИВЗ–8 предназначен для испытания витковой изоляции мелких и средних якорей машин постоянного тока, приборы типов ИВЗ–7, ИВЗ–5 – для испытания витковой изоляции полюсных катушек до и после насадки их на полюс, независимо от количества витков (индукторные, шунтовые), для электрических машин переменного и постоянного тока. Эти приборы компактны, могут быть переносными. Имеют большую чувствительность, высокое испытательное напряжение при малых габаритах и небольшой потребляемой мощности. Принцип действия приборов – импульсный.

15–4. Проверка обмотки якоря методом падения напряжения.

Для проведения испытания методом падения напряжения по обмотке якоря пропускают из сети постоянный ток (рис. 15–5), причем силу его регулируют реостатом. Подавая ток в обмотку якоря через коллекторные пластины, милливольтметром измеряют падение напряжения между каждыми двумя рядом лежащими коллекторными пластинами, касаясь их концами проводников от милливольтметра. Во время испытаний провода, подводящие токи к якорю, постепенно передвигаются по коллектору. При отсутствии каких–либо дефектов все показания милливольтметра должны быть одинаковыми. Если же они будут отличаться от остальных показаний, это указывает на неисправность части обмотки, заключенной между данными пластинами. При испытании петлевой обмотки подача тока может быть выполнена так, как показано на рис. 15–5, т. е. ток подводится к двум диаметрально противоположным точкам или к точкам коллектора, соответствующим полюсному делению. При испытании волновой обмотки ток подводится к двум точкам, отстоящим друг от друга на величину полюсного шага или же немного менее его. Рассмотрим, можно ли применять метод падения напряжения для распознавания различных дефектов в обмотках якорей. При замыкании между испытуемыми пластинами (затяжки – мостики – или же витковое соединение) показания милливольтметра будут меньше, чем на других пластинах, не имеющих замыканий. Это относится к петлевым обмоткам. Необходимо отметить, что при волновых обмотках по окружности коллектора будет несколько мест с небольшими отклонениями стрелки прибора, но дефект (витковое) находится там, где прибор даст наименьшее отклонение. Число мест с небольшими отклонениями будет равно числу пар полюсов, так как эти места отстоят друг от друга на шаг по коллектору. При плохом соединении концов обмотки с пластинами коллектора, а также при плохом соединении концов с хомутиками или с петушками, прибор, приключенный к соответствующим коллекторным пластинам, дает большие отклонения против нормальных. При испытании якоря на плохой контакт следует иметь в виду, что при наличии обрыва милливольтметр окажется включенным на полное напряжение, подводимое к якорю. Для того чтобы не сжечь прибор, рекомендуется уменьшить силу тока до минимальной величины. При волновой обмотке и наличии плохого контакта на коллекторе будет несколько мест, отстоящих на расстоянии шага по коллектору, где милливольтметр даст большие показания. Неисправность будет там, где получится наибольшее отклонение прибора.

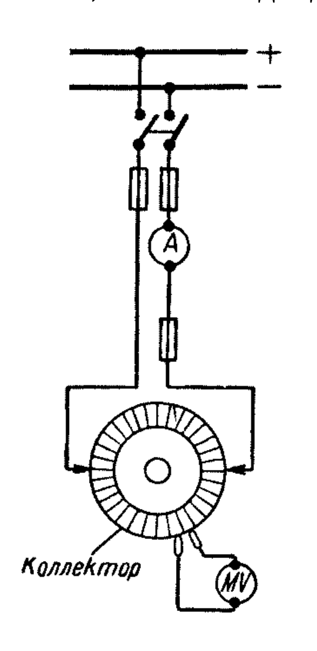


Рис. 15–5. Схема испытания обмотки якоря на витковое.

При обрыве в петлевой обмотке показания милливольтметра будут наибольшими, если концы его проводников соприкасаются с пластинами коллектора, между которыми имеется обрыв. Это обстоятельство надо учесть и, чтобы не сжечь прибор, в якорь, как уже указывалось ранее, следует дать минимальный ток. При обрыве в волновой обмотке прибор будет давать большие отклонения в нескольких местах, отстоящих на расстояние коллекторного шага. Это определяет тот обход обмотки, который имеет обрыв. При неправильном присоединении к коллектору концов обмотки, т. е. при их перекрещивании ("крест"), стрелка прибора отклонится в обратную сторону при соприкосновении проводников прибора с дефектным местом. Если же обратное отклонение стрелки прибора будет наблюдаться при волновой обмотке периодически, через число пластин, соответствующее коллекторному шагу, то это – явление нормальное.

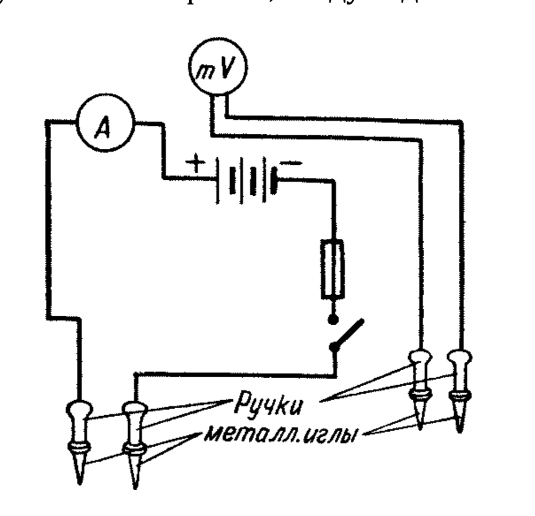


Рис. 15–6. Схема испытания на витковое посредством четырех щупов.

15–5. Проверка обмоток якоря с уравнительными соединениями (частичная подача тока в обмотку якоря)

Схема этого метода испытания была показана на рис. 11–45. Щупами 6 касаются поочередно двух рядом лежащих коллекторных пластин. Ток устанавливается с помощью реостата 2. Отклонения стрелки милливольтметра для каждой пары пластин одинаковы при наличии правильного соединения концов обмотки. Если не имеется специальных щупов, показанных на рис. 11–45, то проверку обмотки с уравнительными соединениями можно произвести четырьмя обыкновенными щупами. На рис. 15–6 дана принципиальная схема включения четырех щупов: два из них идут от батарей аккумуляторов, причем ток от батареи проходит к щупам через реостат (для уменьшения силы тока) и через амперметр. Два других щупа присоединяются к милливольтметру. Проверка производится следующим образом. Щупами от батареи касаются двух рядом лежащих пластин (таким образом подается ток в обмотку). Щупами от милливольтметра касаются этих же пластин и наблюдают за стрелкой прибора. Сила тока, подаваемого в якорь, подбирается такой, чтобы отклонения стрелки милливольтметра можно было легко наблюдать. Все дефекты в петлевых и волновых обмотках (витковые соединения, обрывы) легко обнаружить по отклонениям стрелки милливольтметра. Характер отклонений стрелки прибора при наличии различных повреждений аналогичен указанным в предыдущем параграфе. При пользовании описанным методом следует учесть, что в случае обрыва или плохого контакта щупов в цепи главного тока можно сжечь милливольтметр вследствие имеющих место при этом резких колебаний силы тока и толчков напряжения на его зажимах. Во избежание этого необходимо перед каждой проверкой якоря тщательно просматривать и проверять исправность щупов.

15–6. Дефекты обмотки полюсов и причины их появления.

а. Корпусные соединения.

Повреждения изоляции обмотки полюсов, ее соединение с корпусом (с металлическим каркасом, с телом полюса) происходят от механических повреждений и от слабости самой изоляции.

1. Механические повреждения возможны в процессе намотки вследствие небрежного отношения к работе. Наиболее часто повреждаются изоляционные шайбы в углах. Это ведет к соединению обмотки с каркасом. Дефект обычно обнаруживается в углах внутри катушки, а также у места выхода внутреннего выводного конца вследствие неправильной его установки при начале намотки. Иногда же причиной механических повреждений являются выступы и заусенцы металлического каркаса.
2. Слабость изоляции может явиться следствием некачественной изолировки, неравномерной раскладки слюды при изготовлении слюдяных материалов. К сравнительно редким дефектам следует отнести соединения обмотки с корпусом, каркасом или полюсом. Такие дефекты получаются в результате недостаточной просушки обмотки после пропитки лаком.

б. Витковые соединения.

Эти соединения происходят:
1) от заусенцев на меди;
2) повреждения изоляции витков в процессе намотки, при осадке и выравнивании и при подбивании витков;
3) повреждения изоляции выводов;
4) от сырости и недостаточной просушки после пропитки.

15–7. Испытание обмотки полюсов на витковое.

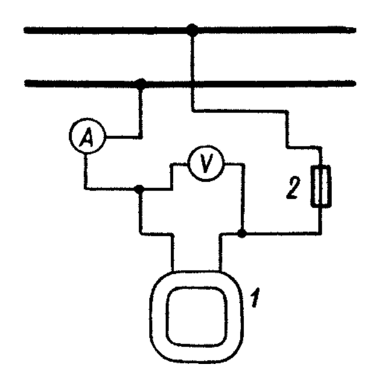


Рис. 15–7. Схема испытания катушек возбуждения.

Для нахождения места соединения между витками в обмотках катушек возбуждения пользуются следующими методами:
а) измерением сопротивления;
б) специальным трансформатором;
в) током повышенной частоты.
Измерения сопротивления производятся измерительным мостиком, либо амперметром и вольтметром (постоянным током). При последнем способе испытуемая катушка 1 включается в сеть через сопротивление, которым может регулироваться ток в катушке. Сопротивление всех катушек, не имеющих витковых соединений, одинаково. Катушки, в которых имеются витковые соединения, будут иметь пониженное сопротивление в зависимости от числа замкнутых витков. Величину сопротивления при определении его амперметром и вольтметром находят на основании закона Ома. Схема испытания показана на рис. 15–7. Способ испытания на витковое при помощи трансформатора показан на рис. 15–8. Сердечник трансформатора 1 имеет обмотку 2, питаемую переменным током. На сердечник трансформатора надевается испытуемая катушка 5, сверху сердечник трансформатора замыкается частью 4. Если в испытуемой катушке имеются замкнутые витки, то при включении тока в обмотку 2 дефектная катушка нагревается в течение небольшого промежутка времени. При нахождении витковых соединений током повышенной частоты он, проходя по катушке, создает в ее короткозамкнутых витках ток большой силы, вследствие чего витки эти сильно нагреваются. Испытания катушек на витковое производится переменным током 1000 гц. При испытании целого ряда одинаковых катушек сравнивают показания прибора для каждой из них и по этим показаниям судят о наличии дефектов. Например, если при испытании четырех катушек найдено следующее: в двух катушках при напряжении 500 *в* ток был равен 2А, в третьей – при напряжении 300 *в* ток был равен 2,8А.

А в четвертой катушке при напряжении 150 *в* ток был еще больше, то первые две катушки не имеют виткового, четвертая явно имеет витковое, а в третьей имеется либо полное замыкание витков, либо, если катушка не будет греться при дальнейшем испытании в течении 3–5 мин., в ней меньше витков, чем в первых двух катушках. В последнее время введен более совершенный способ испытания катушек возбуждения на "витковое" при помощи индикатора виткового замыкания типа ИВЗ–5. Такой прибор, по предложению инж. А. Б. Блушинского, внедрен на заводе "Электросила" и дает положительные результаты.

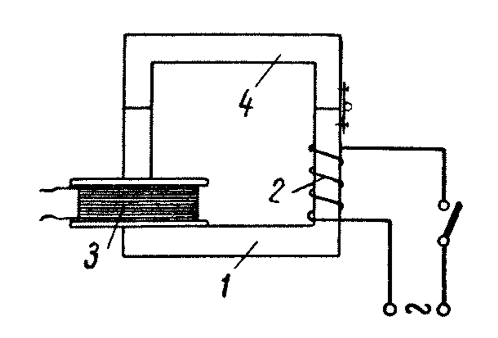


Рис. 15–8. Испытание катушек трансформатором.

15–8. Испытание статоров мелких асинхронных двигателей.

а. Испытание на витковое специальным аппаратом.

В мелком массовом электромашиностроении для определения витковых в статорах по методу индукции применяется аппарат системы М. А. Гашева и Л. Б. Ривлина (рис. 15–9). Он состоит из вала 2, рукоятки 2 для поворота сердечника – электромагнита с обмоткой 5, электромагнита с обмоткой 4, медного диска между электромагнитами 5, опорного бугеля 6, притягивающих электромагнитов 7.

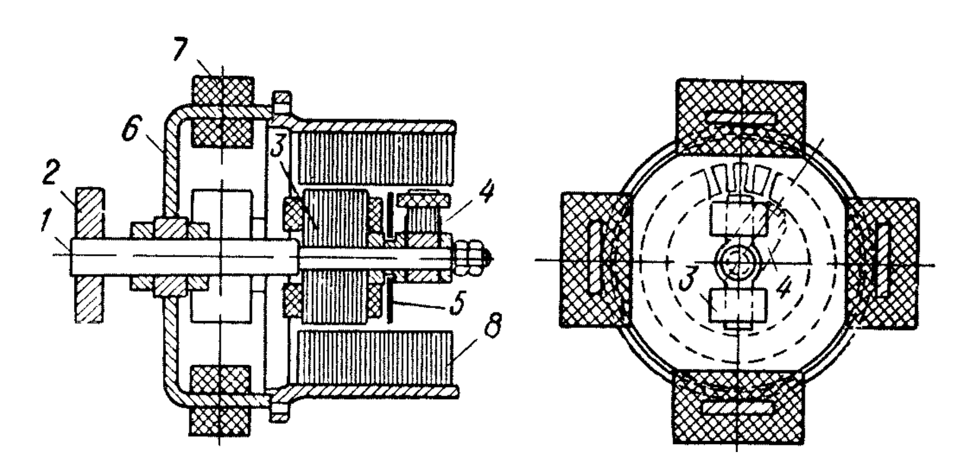


Рис. 15–9. Аппарат системы инженеров Гашева и Ривлина для испытания на витковое.

Принцип работы аппарата следующий: в электромагнит 3 включается переменный ток повышенной частоты (порядка 1000 *гц*) создающий магнитный поток в статоре 8 электродвигателя. Все приспособление с помощью рукоятки 2 поворачивается. Взаимное расположение электромагнитов 3 и 4 таково, что при нахождении электромагнита 3 против центра любой из катушек статора электромагнит 4 двумя своими зубцами схватывает одну из сторон этой катушки. При таком взаимном расположении электромагнитов во время прохождения электромагнита 3 против катушки, имеющей витковое, индуктируется э. д. с. в обмотке электромагнита 4. Обмотка электромагнита включается на микрофон. При наличии виткового в катушке звук в микрофоне сильно увеличится против нормального (при статоре, не имеющем виткового соединения, звук слабый). Этот аппарат очень удобен в массовом производстве для испытания на витковое. Для испытания статорных обмоток в статор вкладывают аппарат и вращают его рукоятку; по звуку в микрофоне определяют присутствие виткового. При одном полном обороте аппарата проверяется на витковое вся обмотка статора. Аппаратом можно пользоваться без бугеля и притягивающего электромагнита 7.

б. Испытание на витковое и на правильность соединения ротором без обмотки.

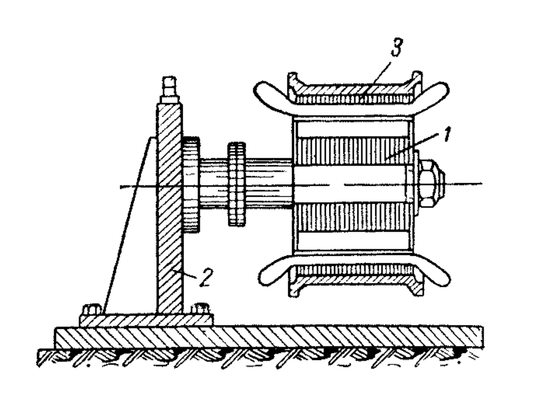


Рис. 15–10. Испытание на витковое.

Испытание обмоток статора ротором без обмоток производится вкладыванием последнего внутрь статора. В обмотку статора включается ток от сети нормальных частоты и напряжения. По амперметру с переключателем 1 замечают ток во всех трех фазах. Равномерность тока во всех трех фазах указывает на правильность соединений, а также и на отсутствие виткового. При наличии виткового появляется сильное гудение, перегрев обмотки статора, запах горелой изоляции и дым. Рассмотренный метод может быть усовершенствован следующим образом. Ротор 1 монтируется на специально устроенном приспособлении 2 (рис 15–10). Для испытания статор 3 надевается на ротор и в статор подается напряжение. Признаки наличия витковых те же, что и выше. На рис 15–11 дана схема испытания двигателя и испытательная вилка 2 с амперметром. Устройство вилки и губок ясно из рисунка.

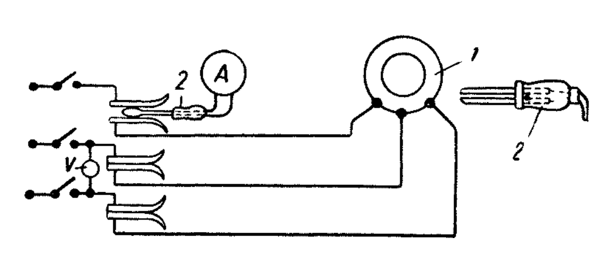


Рис. 15–11. Схема испытания на витковое ротором без обмотки.

15–9. Испытание на витковое соединенных обмоток и отдельных катушек.

Испытание на витковое и проверка по фазам соединенных обмоток могут производиться также и от высокочастотного генератора при частоте в 1000 гц. Делают это следующим образом. Один конец проводника от высокочастотного генератора подводится к нулю, второй – к одному из концов фаз. Через реостат дают ток в обмотку, причем следят за амперметром и вольтметром, а также отмечают показания приборов. При правильном соединении все три фазы (при одном и том же напряжении) должны показать один и тот же ток. Неравномерное показание амперметра в фазах указывает на наличие дефектов: 1) неправильности соединения; 2) виткового; 3) междуфазного соединения. Для определения, в какой из фаз имеется дефект, разъединяют звезду (если обмотка соединена звездой) и испытывают каждую фазу отдельно. Испытание отдельных катушек на витковое производится при помощи высокочастотной установки (рис. 15–12). Переменный ток промышленной частоты, выпрямленный кенотронами КН1 и КН2 каждые полпериода заряжает конденсатор С1 и в течение второго полупериода разряжает при помощи синхронного разрядника РС на первичную обмотку L1. Вторичной обмоткой трансформатора служит измерительная катушка L2. В колебательном контуре возникают во время разряда колебания с частотой и затуханием, определяемыми параметрами контура, и благодаря этому в витках испытуемой катушки индуктируется напряжение. Момент пробоя определяется загоранием лампочки ЛИ, включенной последовательно с контрольной катушкой L3, магнитно–связанной дополнительным стальным сердечником с испытуемой катушкой. При пробое витковой изоляции испытуемой катушки в короткозамкнутых витках появится ток, который создает в стали дополнительного сердечника магнитный ток, следствием чего является ток в контрольной катушке L3 и лампочка загорается. Величина испытательного напряжения регулируется автотрансформатором Тр3 по электростатическому вольтметру, приключенному к измерительной катушке L2, и зависит от конструкции витковой изоляции и количества витков измерительной катушки.

Например, если на один виток испытуемой катушки необходимо дать напряжение 1 *кв*, а всего витков в измерительной катушке четыре, то вольтметр должен показать 4 *кв*. В этом случае и в испытуемой катушке на один виток приходится напряжение в 1 *кв*.

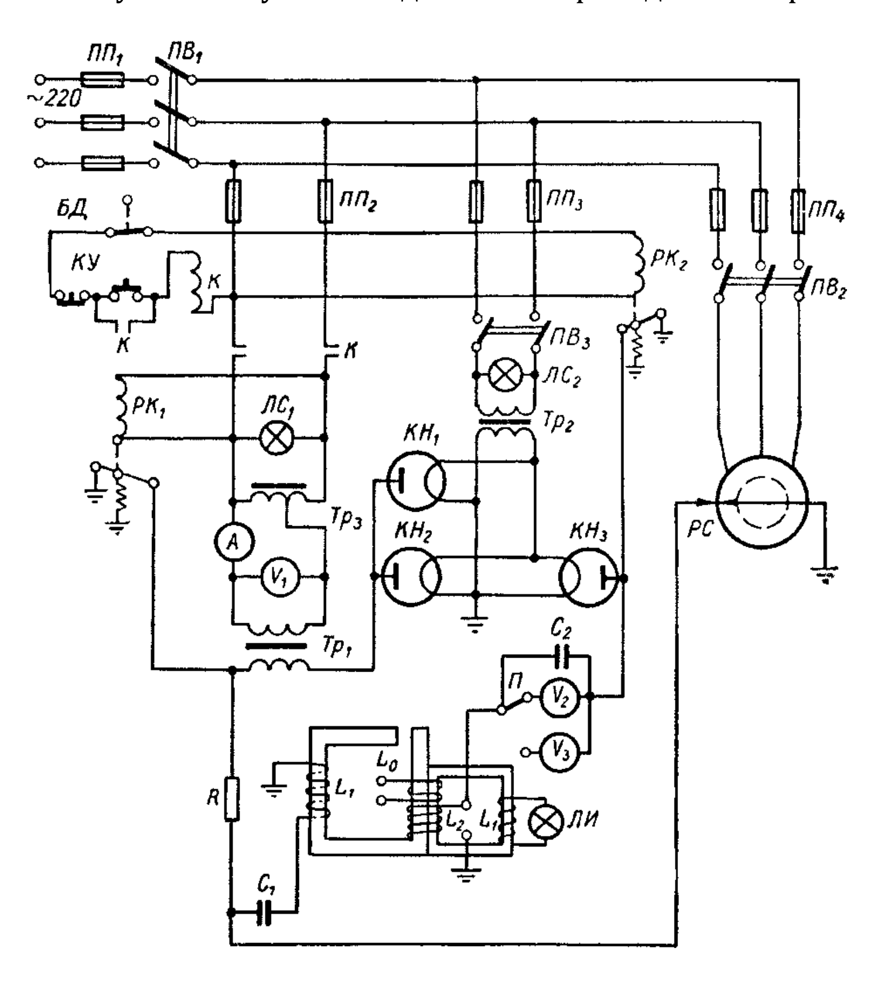


Рис. 15–12. Схема испытания катушек на витковое.

Тр1 – измерительный трансформатор, Тр2 – трансформатор накала кенотрона;
Тр3 – автотрансформатор; РС – синхронный разрядник; КН1, КН2 и КН3 – кенотроны;
С1 и С2 – конденсаторы; Р – сопротивление трубчатое;
L – катушка контура (первичная обмотка);
L2 – катушка измерительная (вторичная обмотка); Lo – катушка испытуемая;
L3 – катушка контрольная; А – амперметр; V1,V2, V3 – вольтметры; К – контактор;
РК1, РК2 – разрядники конденсаторов; ПВ1, ПВ2, ПВ3 – выключатели;
ПП1, ПП2, ПП3, ПП4 – плавкие предохранители; ЛС1, ЛС2 – лампы сигнальные;
ЛИ – лампа индикаторного пробоя: БД – блокировка двери;
КУ – кнопка управления; П – переключатель.

15–10. Испытание обмоток на корпус.

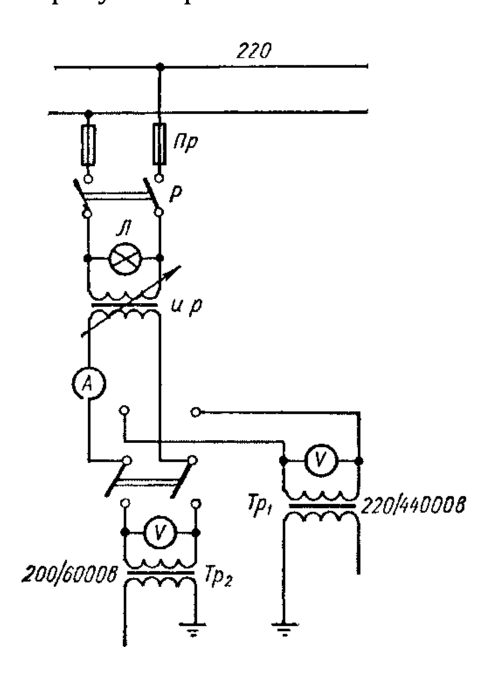
Все обмотки машин в готовом виде испытываются согласно нормам (ГОСТ 183–66). Изоляция обмоток в готовой машине должна выдержать следующие напряжения промышленной частоты:

1) машина мощностью менее 1 кВт (или 1 кВА) и выше на номинальное напряжение ниже 100В – двойное рабочее номинальное напряжение плюс 500В в течение 1 мин.

2) машина мощностью от 1 кВт (или 1 кВА) и выше на номинальное напряжение ниже 100В – двойное номинальное напряжение плюс 1000 *в*, также в течение 1 мин;

3) машины:

а) мощностью до 1000 кВт (или 1000 кВА), за исключением перечисленных в подпунктах 1 и 2 – двойное рабочее номинальное напряжение плюс 1000 *в*, но не менее 1500 *в*;
б) мощностью до 1000 кВт (или 1000 кВА) и выше на номинальное напряжение: до 3300 *в* – 1000 *в* плюс двукратное номинальное напряжение; свыше 3300В до 6600В – 2,5–кратное номинальное напряжение; свыше 6600 *в* – двукратное номинальное напряжение плюс 3000 *в*.
Изоляция обмоток после различных операций может получить повреждения, и прочность ее в таком случае понижается. Чтобы быть уверенным в том, что изоляция обмотки выдержит указанное выше напряжение, ее в процессе производства испытывают напряжением, повышенным по отношению к конечному испытательному напряжению. Обычно после укладки обмотки в пазы и заклинки ее, а также после запайки хомутиков или припайки к коллекторным пластинам концов, испытательное напряжение повышается от 10 до 20% против норм. Для испытания на корпус обмоток применяется обычно схема, приведенная на рис. 15–13. Необходимое напряжение регулируется потенциальным регулятором.



15–13. Схема для испытания обмотки на корпус.

Таблица 15–1. Испытательное напряжение на корпус статорных обмоток, В.

Рабочее напряжение машины	Отдельные катушки	Катушки после укладки в пазы	Обмотки после соединения
3000	13300	11500	8900
6000	21000	19000	15800
6600	22650	20500	17180

Таблица 15–2.
Испытательное напряжение на корпус для обмоток роторов асинхронных машин, *в*.

Напряжение на кольцах ротора	Стержни после укладки в пазы	Обмотки после пайки в бандажировке
270	2340	2110
500	2800	2520
600	3000	2700
750	3300	2970

Таблица 15–3. Испытательное напряжение для обмоток роторов синхронных машин, *в*.

Рабочее напряжение возбуждения	На корпус – катушка после укрепления на полюсах	На витковое – катушка после укрепления на полюсах
0 – 130	3000	Десятикратное номинальное напряжение
131 – 230	4000	

Таблица 15–4. Пооперационные испытания изоляции статорных обмоток синхронных генераторов и двигателей при частичной перемотке (по данным завода "Электросила").

Что испытывается	Испытательные напряжения от корпуса (действующее значение)	
	номинальное напряжение статора от 250 до 3150 *в*	номинальное напряжение статора от 6000 *в* и выше
Статорная обмотка после отсоединения заменяемой части и статорная обмотка после повторной укладки до соединения	1,5×Uн, но не менее, 1,15×Uн + 600	1,5×Uн
Запасные секции до укладки в статор	2,25×Uн + 2000	2,25×Uн + 4000
Запасные секции новые до укладки в статор	2×Uн + 1000	2×Uн + 3000
Вся обмотка после соединения новых секций до пайки	1,4×Uн но не менее + 600	1,4×Uн
Вся обмотка после соединения новых секций (готовый статор)	1,3×Uн, но не менее + 500	1,3×Uн

Примечание. Продолжительность испытания 1 мин.

В настоящем варианте, по сравнению с оригинальным изданием, отсутствуют таблицы приложений свойств лаков и эмалей как полностью устаревшие.

Переработано: 24.02.2022